

Tesis de Posgrado

Estudio térmico y del flujo del aire en septiembre y octubre en los Valles de los Ríos Limay, Neuquén y Negro

Cogliati, Marisa Gloria

2001

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias
de la Atmósfera de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en digital.bl.fcen.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in digital.bl.fcen.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:

Cogliati, Marisa Gloria. (2001). Estudio térmico y del flujo del aire en septiembre y octubre en los Valles de los Ríos Limay, Neuquén y Negro. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3394_Cogliati.pdf

Cita tipo Chicago:

Cogliati, Marisa Gloria. "Estudio térmico y del flujo del aire en septiembre y octubre en los Valles de los Ríos Limay, Neuquén y Negro". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2001.

http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3394_Cogliati.pdf

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

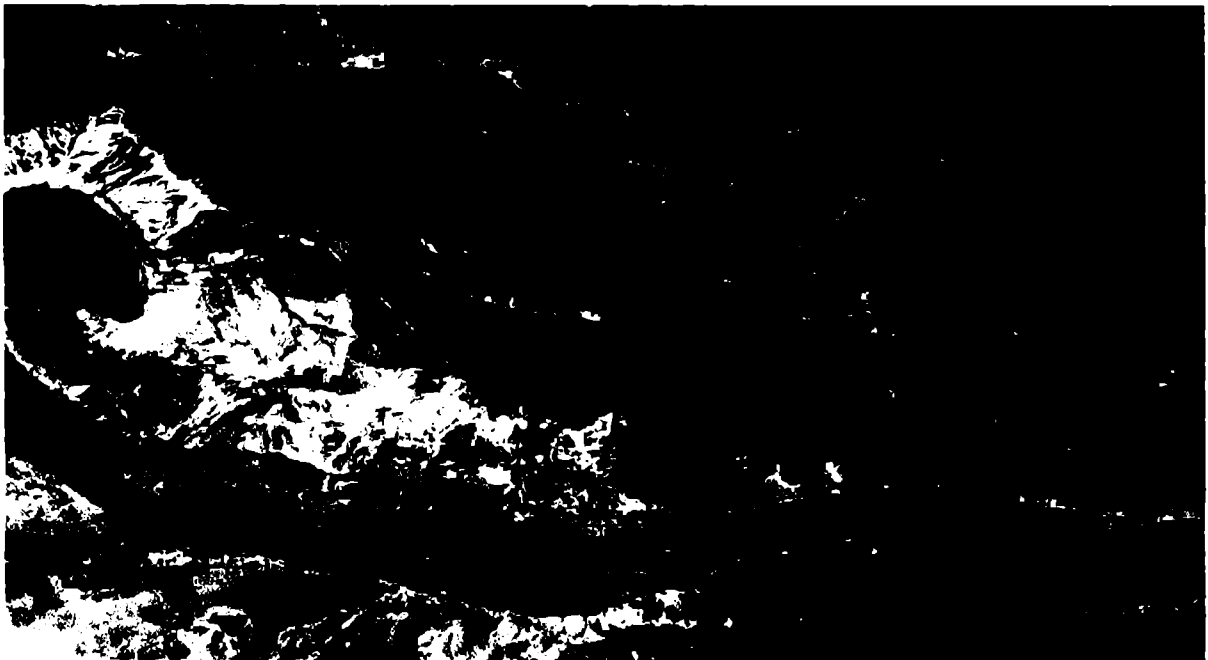


UBA

Universidad de Buenos Aires

**UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA Y LOS OCÉANOS**

**ESTUDIO TÉRMICO Y DEL FLUJO DEL AIRE EN
SEPTIEMBRE Y OCTUBRE EN LOS VALLES DE LOS
RÍOS LIMAY, NEUQUÉN Y NEGRO**



**Trabajo de Tesis elaborado por la Licenciada Marisa Gloria Cogliati
para acceder al título de Doctora en Ciencias de la Atmósfera**

Director de Tesis: Dr. Nicolás Antonio Mazzeo

Año 2001

a Marcelo, Ezequiel,
Matías y Vilma

INDICE

| | |
|---|------|
| INDICE | i |
| RESUMEN | vi |
| ABSTRACT | viii |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. ALGUNOS ASPECTOS DE LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA Y DEL FENÓMENO DE LA HELADA EN LA ZONA | 3 |
| 2.1 ANTECEDENTES | 3 |
| 2.2 ASPECTOS GENERALES DE LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA EN EL ALTO VALLE | 5 |
| 2.3 LAS HELADAS Y LA PRODUCCIÓN EN LOS VALLES DE LOS RÍOS NEUQUÉN, LIMAY Y NEGRO | 6 |
| 2.4 GENERALIDADES DEL FENÓMENO DE LA HELADA EN LOS VALLES DE LOS RÍOS NEUQUÉN, LIMAY Y NEGRO | 8 |
| RESUMEN | 10 |
| 3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO | 11 |
| 3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL | 11 |
| 3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS DEL ENTORNO DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS | 12 |
| 3.2.1 Área del Valle del río Limay | 12 |
| 3.2.1.1 Estación Neuquén Aero (NA) | 12 |
| 3.2.1.2 Estación Colonia Valentina Sur (CVS) | 13 |
| 3.2.2 Área del Valle del río Neuquén | 13 |
| 3.2.2.1 Estación Cinco Saltos (CS) | 13 |
| 3.2.2.2 Estación Centenario Barda (CB): | 14 |
| 3.2.2.3 Estación Centenario Valle (CLF) | 15 |
| 3.2.3 Área del Valle del Río Negro | 16 |
| 3.2.3.1 Estación Allen (C52) | 16 |
| 3.2.3.2 Estaciones Cipolletti:(CI) y Cipolletti II (CI y CII) | 16 |
| 3.2.3.3 Estación Alto Valle (AV) | 16 |
| 3.2.3.4 Estación Villa Regina (VR) | 16 |
| 4. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA UTILIZADA | 17 |
| 4.1. DATOS | 17 |
| 4.2 INFORMACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS | 17 |
| 4.3. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN | 19 |
| 4.3.1 Relleno de la información faltante | 19 |

| | | |
|---------|--|----|
| 4.3.2 | Consistencia de la información | 23 |
| 4.3.3 | Estacionariedad de las series horarias | 25 |
| 4.3.3.1 | Temperatura del aire en la Estación Neuquén Aero | 26 |
| 4.3.3.2 | Intensidad de Viento en la estación Neuquén Aero | 27 |
| 4.3.3.3 | Temperatura del aire en la estación Cinco Saltos: | 28 |
| 4.3.3.4 | Temperatura del aire en la estación Alto Valle | 28 |
| 4.3.3.5 | Temperatura del aire en la estación Villa Regina: | 29 |
| 4.3.4. | Estacionariedad de la información con 1 minuto y 15 minutos de intervalo de observación | 30 |
| 5. | CLIMATOLOGÍA GENERAL | 31 |
| 5.1 | CLIMATOLOGÍA DE LA ZONA NORPATAGÓNICA | 31 |
| 5.2 | CLIMATOLOGÍA SUPERFICIAL | 32 |
| 5.3 | CARACTERÍSTICAS DE LOS CAMPOS HORIZONTALES DE TEMPERATURA DEL AIRE Y DE ALTURA GEOPOTENCIAL SOBRE LA REGIÓN EN CONDICIONES DE HELADAS | 37 |
| 5.4 | ASPECTOS DE UNA CLIMATOLOGÍA SINÓPTICA | 37 |
| | RESUMEN | 40 |
| 6. | ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS HORARIOS DE TEMPERATURA DEL AIRE Y VIENTO | 42 |
| 6.1. | INTRODUCCIÓN | 42 |
| 6.1.1 | ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS | 42 |
| 6.2. | DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TEMPERATURA | 43 |
| 6.3 | DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE INTENSIDAD DE VIENTO | 47 |
| 6.3.1 | Vinculación de la intensidad con las direcciones del viento | 49 |
| 6.3.2 | Vinculación de la temperatura del aire con las direcciones de viento | 52 |
| 6.4 | VARIACIÓN DIURNA DE LA INTENSIDAD DEL VIENTO | 54 |
| | RESUMEN | 55 |
| 7. | ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN METEOROLÓGICA MEDIA CERCANA AL SUELO CORRESPONDIENTE A SEPTIEMBRE Y OCTUBRE | 56 |
| 7.1 | INFORMACIÓN | 56 |
| 7.2 | CARACTERÍSTICAS DE LOS CAMPOS MEDIOS DIARIOS DEL 1 AL 5 DE SEPTIEMBRE Y DEL 14 AL 17 DE OCTUBRE DE 1993 | 56 |
| 7.3 | COMPARACIÓN DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS MEDIAS A ESCALA REGIONAL CORRESPONDIENTES A SEPTIEMBRE Y OCTUBRE (1982-1994) CON LAS DE LOS AÑOS 1988, 1989 Y 1994 | 63 |
| | RESUMEN | 71 |
| 8. | ANÁLISIS DEL VIENTO EN LOS VALLES DE LOS RÍOS NEUQUÉN, LIMAY Y NEGRO | 72 |
| 8.1 | ANTECEDENTES | 72 |
| 8.2 | FLUJO DEL AIRE EN EL INTERIOR DE LOS VALLES | 73 |

| | |
|---|-----|
| - Forzante térmico. | 73 |
| - Transporte de cantidad de movimiento horizontal hacia la superficie desde el flujo desarrollado sobre el valle | 74 |
| - Las paredes del valle actúan sobre el flujo del aire | 74 |
| - Direccionamiento del flujo por acción del gradiente de presión | 74 |
| - Drenaje catábatico: | 74 |
| - Ondas originadas por obstáculos: | 74 |
| Ondas de gravedad: | 75 |
| 8.3 DISTRIBUCIONES DIURNAS Y NOCTURNAS DEL VIENTO EN LOS VALLES | 75 |
| 8.3.1 Distribuciones diurnas y nocturnas de la intensidad del viento en NA | 75 |
| 8.3.2 Distribuciones diurnas y nocturnas del viento en NA, CB, CVS, C52 y CLF | 75 |
| 8.4 DIFERENCIA DE PRESIÓN ENTRE VALLE Y MESETA | 79 |
| 8.5 RELACIONES ENTRE EL VIENTO EN EL VALLE Y EL VIENTO EN ESCALA SINÓPTICA | 82 |
| RESUMEN | 86 |
| 9. ANÁLISIS ESPECTRAL | 88 |
| 9.1 ANTECEDENTES | 88 |
| 9.2 INTRODUCCIÓN | 92 |
| 9.2.1 Espectro de una serie de datos | 93 |
| 9.2.2 Espectro entre dos series de datos | 95 |
| 9.2.3 Relación entre el espectro cruzado y el transporte de calor y cantidad de movimiento | 95 |
| 9.3 ESPECTROS DE VARIABLES METEOROLÓGICAS EN ESTACIONES INSTALADAS EN LOS VALLES DE LOS RÍOS NEUQUÉN, LIMAY Y NEGRO | 96 |
| 9.3.1 Espectro de la temperatura del aire | 96 |
| 9.3.2 Espectro de la intensidad del viento | 105 |
| 9.4 ESPECTROS DE LAS COMPONENTES U Y V DE LA INTENSIDAD DEL VIENTO | 111 |
| RESUMEN | 117 |
| 9.5 ESPECTRO CRUZADO ENTRE LAS TEMPERATURAS DEL AIRE DE DIFERENTES ESTACIONES METEOROLÓGICAS UBICADAS EN LOS VALLES | 119 |
| 9.5.1 Generalidades | 119 |
| 9.5.2 Densidades espectrales cruzadas de la temperatura del aire entre las diferentes estaciones meteorológicas: | 120 |
| 9.5.3 Coespectro de la temperatura del aire | 123 |
| 9.5.4 Espectro de cuadratura de la temperatura del aire | 124 |
| 9.5.5 Coherencia entre la temperatura en diferentes estaciones | 127 |
| 9.5.6 Fase entre la temperatura del aire de las distintas estaciones | 128 |
| RESUMEN | 131 |

| | |
|--|-----|
| 9.6 TRANSPORTE HORIZONTAL DE TEMPERATURA | 133 |
| 9.6.1 Introducción | 133 |
| 9.6.2 Espectro cruzado de la temperatura del aire y las componentes u y v del viento | 134 |
| 9.6.2.1 Densidad espectral cruzada entre la temperatura del aire y las componentes u y v de la velocidad del viento: | 134 |
| 9.6.3. Coespectro entre la temperatura del aire y las componentes u y v del viento | 137 |
| 9.6.4 Espectro de cuadratura entre la temperatura del aire y las componentes u y v de la intensidad del viento | 141 |
| 9.6.5 Coherencia entre la temperatura del aire y las componente u y v de la intensidad del viento | 145 |
| 9.6.6 Fase entre la temperatura del aire y las componentes u y v de la intensidad del viento | 149 |
| RESUMEN | 151 |
| 9.7 TRANSPORTE HORIZONTAL DE CANTIDAD DE MOVIMIENTO | 153 |
| 9.7.1 Generalidades | 153 |
| 9.7.2 Espectro cruzado entre las componentes u y v de la intensidad del viento | 153 |
| 9.7.3. Coespectro de las componente u y v de la intensidad del viento ... | 156 |
| 9.7.4. Espectro de cuadratura de las componentes u y v de la intensidad del viento | 159 |
| 9.7.5. Coherencia de las componentes u y v de la intensidad del viento ... | 165 |
| 9.7.6. Fase de las componentes u y v de la intensidad del viento | 165 |
| RESUMEN | 168 |
| 10. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA TEMPERATURA DEL AIRE Y LAS COMPONENTES DE LA INTENSIDAD DEL VIENTO | 170 |
| 10.1 GENERALIDADES | 170 |
| 10.2 DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA TEMPERATURA DEL AIRE | 173 |
| 10.3 DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL VIENTO | 177 |
| 10.3.1 Desviación estándar de las componentes u y v de la intensidad del viento | 178 |
| RESUMEN | 184 |
| 11. ANÁLISIS DE UN PERFIL VERTICAL DEL VIENTO EN EL VALLE DEL RÍO NEUQUÉN EN CONDICIONES DE ENFRIAMIENTO RADIATIVO | 185 |
| 11.1 INTRODUCCIÓN | 185 |
| 11.2 EXPERIMENTOS DE MEDICIÓN DE VARIABLES EN LA CAPA DE LA ATMÓSFERA CERCANA AL SUELO | 186 |
| 11.3 INFORMACIÓN OBTENIDA EN EL EXPERIMENTO MECIN | 187 |
| 11.4 ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE Y DEL VIENTO CERCA DEL SUELO | 188 |
| 11.5 VARIACIÓN VERTICAL DE LA TEMPERATURA DEL AIRE Y DEL | |

| | |
|--|-----|
| VIENTO EN LA CAPA DE AIRE CERCANA AL SUELO | 190 |
| RESUMEN | 191 |
| 12. CONCLUSIONES | 193 |
| AGRADECIMIENTOS | 197 |
| ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS | 198 |
| REFERENCIAS | 200 |

RESUMEN

Las condiciones de suelo fértil con abundante agua disponible, hacen que los valles sean lugares preferenciales para asentamientos poblacionales y emprendimientos productivos. El estudio del flujo del aire y los intercambios de calor entre meseta y valle son considerados relevantes por sus múltiples aplicaciones de índole práctica.

Los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro ubicados en la Patagonia Norte argentina constituyen una región con las características señaladas anteriormente y una importante producción fruti-hortícola. Por ejemplo, los cultivos agrícolas ocupan en el valle del Río Negro, el 60% de la superficie total del mismo.

El comportamiento de los factores meteorológicos, muchas veces actúa de manera decisiva sobre la producción frutícola. En el Alto Valle, su influencia promedio se encuentra entre el 5 y el 6%.

Si bien, durante la época de descanso vegetativo, los frutales necesitan de la ocurrencia de temperaturas bajas, en el período crítico de floración, dichas temperaturas pueden ocasionar daños severos a la producción.

Las heladas tardías que afectan la producción frutícola ocurren en los meses de septiembre y octubre, y representan para la región de los valles de los ríos Limay, Neuquén y Negro, uno de los mayores riesgos para la actividad productiva, llegando a ocasionar grandes pérdidas económicas. El número medio de días con heladas en los meses de septiembre y octubre es 10 días en Villa Regina, 8.7 días en Alto Valle, 8.3 días en Cinco Saltos, 5.4 días en Neuquén y 3.5 días en Cipolletti. Esto pone en evidencia la variabilidad espacial de este fenómeno.

En este trabajo se analizan las características espaciales y temporales de la temperatura del aire y el viento en los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro durante los meses de septiembre y octubre en los que ocurren heladas tardías. La diversidad de escalas involucradas en el fenómeno de las heladas hizo necesaria la inclusión en este trabajo de información con diferentes características dentro de los valles. Se utilizaron datos de temperatura del aire y del viento de varios puntos ubicados sobre la meseta y en el interior del valle, obtenidos con intervalos de tiempo de 1 minuto, 15 minutos, 30 minutos y 1 hora. Los datos con intervalo de observación menor, fueron adquiridos durante el experimento de campo MECIN realizado en la zona entre 1992 y 1998. Este trabajo, encara el análisis de distintas escalas involucradas en la determinación de las características de las fluctuaciones de temperatura del aire y viento a partir de distintos enfoques metodológicos.

En un primer enfoque, se analizan las características climáticas de la zona comprendida por los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro mediante el estudio de datos de temperatura del aire e intensidad y dirección del viento incluidos en las estadísticas climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (período: 30 años) en las estaciones Neuquén Aero, Cipolletti, Alto Valle y Villa Regina. En este análisis de mayor escala, se incluyó también una climatología sinóptica realizada mediante los datos del reanálisis elaborado por el NCAR/NCEP correspondientes al período 1982-1994. Estos análisis proveyeron un marco de las características de escala sinóptica de la meteorología de la región durante los meses de septiembre y octubre.

El análisis de escalas menores, se efectuó desde dos enfoques diferentes:

– A partir de las series horarias, cada 15 min y cada 1 minuto de temperatura del aire y del viento, se obtuvieron los espectros de dichas variables mediante la técnica de la Transformada Rápida de Fourier (Cooley y Tukey, 1965) en estaciones meteorológicas instaladas sobre la meseta y en el interior de los valles y se identificaron algunos procesos físicos a partir de los máximos de densidad espectral en escala sinóptica, meso y escala local.

Se calcularon los espectros cruzados (coespectro, espectro de cuadratura) entre la temperatura del aire en distintos lugares de medición con la finalidad de obtener los períodos en que se presentan las mayores covarianzas. A partir de los espectros cruzados entre la temperatura del aire y las componentes u y v de la intensidad del viento se obtuvieron los estimadores de los transportes horizontales de temperatura. Los transportes horizontales de temperatura en Neuquén Aero, Allen y colonia Valentina Sur son mayores en la dirección N-S, mientras que en Centenario barda y Centenario valle los transportes son mayores en la dirección W-E. Esto indicaría que en todos los casos los transportes son mayores en la dirección transversal a los valles. Realizando un análisis similar entre la componente u y la componente v de la intensidad del viento se calculó el intercambio horizontal de cantidad de movimiento.

– Las interacciones del viento en los valles con el flujo de escala sinóptica, generan procesos característicos de escalas menores. En diversas partes del mundo se han realizado trabajos al respecto. Para el estudio de las relaciones entre el viento de escala sinóptico y el viento en el interior de los valles, se utilizó el modelo conceptual propuesto por Whiteman y Doran (1993) en el que se identifican cuatro mecanismos. El tipo de forzante se determina a partir de la distribución conjunta de los vientos de valle y los vientos en escala sinóptica. A partir de este análisis y de la descripción de las varianzas de la temperatura del aire y la dirección e intensidad del viento, se infirieron procesos físicos que regulan la conducción del aire en los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro en condiciones diurnas y nocturnas.

El estudio en la escala local se completó con el análisis de los perfiles verticales de temperatura y viento en la capa cercana al suelo en el valle del río Neuquén.

Las fluctuaciones en la dirección del viento en los valles de los ríos Neuquén y Negro ponen de manifiesto la existencia de un ciclo diurno que podría indicar un efecto térmico. En el valle del río Limay este efecto no fue observado.

La distribución de frecuencias de direcciones de viento presenta una alineación del viento en superficie a lo largo de las direcciones de los ejes de los valles.

El valle del Río Negro en Allen, no presenta un sólo proceso sino que se observa canalización forzada y transporte de cantidad de movimiento desde el viento en escala sinóptica. En el valle del río Limay se presentan dos giros en la dirección del viento, uno se ajustaría a procesos producidos por el gradiente de presión y otro se asociaría a la canalización forzada. De manera similar a lo obtenido en el análisis de la temperatura, los valores de energía cinética varían entre la meseta y el interior de los valles, observándose mayores valores sobre la barda y valores en disminución hacia el interior de los valles.

El perfil del viento dentro del valle presentó una capa de calma y a mayor altura un aumento abrupto de la velocidad del aire. Esta configuración y la estratificación que se da en la capa de inversión nocturna, bajo condiciones propicias podrían provocar ondas de Kelvin-Helmholtz.

Palabras Claves: heladas, valles, distribución de temperatura y viento, densidad espectral.

ABSTRACT

The fertile soil and available quantity of water made valleys wanted for population settlement and productive enterprises. The study of air flow and transport of heat between the plain and the valley are decisive results for practical applications.

The Neuquén, Limay and Negro river valleys located in Northern Patagonia are one of the most important fruit production region. The fruit crops occupies the 60% of total Río Negro river valley surface (41671 has).

The behaviour of meteorological factors acts in a decisive way over fruit production. In Alto Valle the mean influence is between 5 and 6%.

During winter fruit trees need low temperatures, but in spring time low temperatures might cause extreme damage to crops.

Late freeze affects fruit production during September and October and are one of the dangerous risks for production that could generate important economical losses. The mean number of freeze days in September and October is 10 days in Villa Regina, 8.7 days in Alto Valle, 8.3 days in Cinco Saltos, 5.4 days in Neuquén and 3.5 days in Cipolletti, showing the spatial variability of freeze occurrence.

In this job the spatial and temporal characteristics of air temperature and wind in Neuquén, Limay and Negro rivers valleys in September and October are analyzed.

A great density of data was included in this work because of the variety of scales involved in late freeze phenomena. Air temperature and wind in some points in the valley and the plain obtained by 1 min, 15 min or an hour were considered. Some data was obtained during MECIN field experiment (Nocturnal Inversion Layer Measurements) from 1992 to 1998.

The variety of scales involved in temperature and wind fluctuations determined the use of different methodologies in the analysis. The first point of view is the analysis of climatic characteristics of Neuquén, Limay and Negro river valleys zone by studying 30 years climatic statistics in Neuquén Aero, Cipolletti, Alto Valle y Villa Regina and a synoptic climatology from NCEP/NCAR reanalysis from 1982-1994 for September and October.

The spectrum of hourly, 15 minutes and 1 minute series of air temperature and wind were obtained using Fast Fourier Transform technique (Cooley and Tukey, 1965) in meteorological stations over the plain and in the valley, to identify physical processes connected with spectrum maxima in synoptic, meso and local scale.

Air temperature cross spectrum (co-spectrum and quadrature spectrum) in different locations were calculated. Temperature and momentum estimations of the fluxes were obtained from air temperature and wind components cross spectrum.

The interaction of winds in a valley with winds above the valley produces local scale processes. Several authors made papers concerning this topic in different countries. Whiteman y Doran (1993) present a conceptual model of four different forcing mechanisms of valley winds. They determined the type of forcing that occurs at a site from a scatterplot of the synoptic winds versus the ambient winds. This analysis and standard deviation of temperature and wind inferred the channelling forcing within valleys.

The wind direction fluctuations in Neuquén, and Negro river valley shows a diurnal cycle

from thermal forcing. Limay river valley does not show evidences of diurnal cycle.

The micrometeorology study was completed with vertical air temperature and wind soundings in Neuquén river valley.

The surface wind direction distribution evidence directions aligned with valley axis.

Neuquén river valley present forced channelling (Whiteman and Doran 1993), Río Negro valley present forced channelling and downward momentum transport influences and Limay valley present two shifts in wind direction: the first process was pressure driven channelling and the second forced channelling.

Horizontal temperature transport in Neuquén Aero, Allen and Colonia Valentina Sur are important in N-S direction and in Centenario in W-E both in the cross valley direction.

Wind profile in the valley shows a calm layer and an abrupt increase above. This pattern and nocturnal inversion layer temperature stratification could produce Kelvin Helmholtz waves

Keywords: freeze, valleys, temperature and wind pattern, spectral density.

1. INTRODUCCIÓN:

La zona de los valles de los ríos Limay, Neuquén y Negro es una de las zonas de producción frutícola más importantes del país.

El comportamiento de los factores meteorológicos, muchas veces actúa de manera decisiva sobre la producción frutícola.

Durante la época de descanso vegetativo los frutales necesitan de la ocurrencia de temperaturas bajas, pero en el período crítico de floración dichas temperaturas pueden ocasionar daños severos a la producción. El problema de las heladas tardías afecta especialmente durante los meses de septiembre y octubre de distinta manera a los productores frutícolas en los valles.

El comportamiento de la temperatura del aire y el viento en la zona de los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro, presenta características particulares asociadas a diferencias en los tipos y al uso del suelo. Estas variaciones, producen cambios en las propiedades físicas del terreno como por ejemplo, en los parámetros de rugosidad, en los aportes de humedad por evapotranspiración, en el balance térmico y en el flujo del aire.

El aire sobre la meseta con escasa vegetación y propiedades térmicas diferentes a las del valle encuentra en las cercanías del límite del valle, una perturbación importante que produce cambios en los transportes de temperatura y cantidad de movimiento.

Los valles constituyen zonas, que por sus características, favorecen el asentamiento de poblaciones y emprendimientos productivos agrícolas, por esa razón en diversas partes del mundo se han llevado a cabo estudios sobre el flujo del aire en el interior de los valles.

Doran y Horst (1983) analizaron mediciones de los vientos nocturnos en pendientes en Rattlesnake Mountain (E.E.U.U) mediante el uso de torres y globos sondas, Doran (1991) realizó una simulación numérica de los efectos de los vientos ambientales sobre los vientos catabáticos en valles a partir de la geometría del valle Brush Creek en Colorado (E.E.U.U). Whiteman y Doran (1993) estudiaron la relación entre los vientos sobre y dentro del valle de Tennessee (EEUU) a partir de estudios climatológicos y por medio de un modelo numérico atmosférico. Doran y Zhong (1994) efectuaron un análisis de los flujos de drenaje regionales en la región Pacific Northwest (EEUU) con datos obtenidos de una red de observaciones de superficie y una serie de simulaciones con un modelo de mesoescala. Guardans y Palomino (1995) analizaron datos meteorológicos horarios de sensores instalados en siete torres ubicadas en el valle de Montesina (Córdoba, España). Whiteman y otros (1996) evaluaron las ecuaciones de balance de masa, calor y humedad para un volumen de control en la Cuenca de Sinbad en Colorado (EEUU). Eckman (1998) estudió el comportamiento del viento en el interior del valle de Tennessee (EEUU) utilizando mediciones efectuadas en torres y simulaciones numéricas.

Los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro son valles poco profundos y anchos, pero diversos estudios indican que aún en valles poco profundos, las influencias sobre el comportamiento térmico y del flujo del aire son notables. Wagner (1932) asumió que los vientos de valle ocurrían en grandes valles en forma de U, posteriormente estas circulaciones también fueron observadas en valles pequeños y en valles en forma de V (Ekhardt, 1948). Wagner (1932) distingue tres mecanismos de intercambio de masas de aire entre regiones montañosas y

planicies adyacentes: vientos de pendiente, vientos de valle a lo largo del eje e intercambio de masas de aire de gran escala. La alta sensibilidad a los sistemas de presión en escala sinóptica es una característica de los valles poco profundos donde los sistemas térmicos son débiles, debido a que estos dependen fuertemente de la profundidad del valle.

El objetivo de este trabajo es efectuar un análisis de las características térmicas y del flujo del aire en los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro. Este análisis constituirá una herramienta que brindará aportes importantes a través de la caracterización de los fenómenos de distintas escalas que pueden asociarse a fluctuaciones de la temperatura y el viento.

En la primer etapa del trabajo se debió afrontar la dificultad que representaba el conseguir los datos necesarios para llevar a cabo el diagrama metodológico planteado. Posteriormente, se incorporaron datos de las estaciones meteorológicas automáticas ubicadas en varios puntos de los valles que se distribuyeron durante el desarrollo del proyecto MECIN (Mediciones de la Capa de Inversión Nocturna). La diferencia en las fuentes de obtención y las características de los datos, obligó que su tratamiento se hiciera a partir de metodologías diferentes que permitieran la realización de un análisis espacial regional y un análisis cronológico.

2. ALGUNOS ASPECTOS DE LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA Y DEL FENÓMENO DE LA HELADA EN LA ZONA

2.1 ANTECEDENTES

Los trabajos realizados en Argentina y en particular en la región Comahue sobre el estudio de la lucha contra las heladas tardías, comprenden enfoques agrometeorológicos, sinópticos y climáticos. Los más recientes, incluyen trabajos realizados a partir de 1992 en el marco del denominado Proyecto MECIN (Mediciones de la capa de inversión nocturna) y estudios sobre las condiciones sinópticas que producen las heladas.

Ruggiero (1955) estudió la floración de setenta variedades de manzanos y su relación con las temperaturas de otoño e invierno de los años 1935 a 1937 en el Alto Valle del Río Negro. Analizó además el comienzo y la duración de la floración correlacionando los resultados con la cantidad de horas de frío.

Damario y Pascale (1957) efectuaron varios ensayos de lucha contra las heladas en los meses de julio y agosto en Villa Regina, mediante el uso de calefactores. Se utilizaron dos modelos, variando la ubicación, la forma de distribución y el modo de operarlos. Los autores aconsejaron la utilización de cien calefactores por ha, con lo que se obtendría un aumento de temperatura entre 2 y 3°C, según la manera en que se regulara el tiraje.

Garabatos (1969) estudió el descenso térmico nocturno a partir de termogramas de estaciones ubicadas en la zona frutícola del valle de Río Negro y Neuquén durante los meses de septiembre y octubre de los años 1960 a 1962. Concluyó que el viento es el factor con mayor incidencia en la alteración nocturna de las capas bajas de la atmósfera. Las condiciones de calma o de viento permanente en el valle, posibilitarían en el primer caso la formación de capas estratificadas de inversión y en el segundo caso la homogeneización térmica por mezcla dinámica de dichas capas, dando lugar a que se manifiesten las diferencias térmicas entre los distintos puntos, debidas a causas orográficas, hidrográficas, de tipos de suelo y cultivos. Las variaciones de temperatura del aire entre estaciones estarían influidas por diferencias de velocidad, dirección y el período de manifestación del viento.

Garabatos (1972, 1978) determinó que la estación Alto Valle se comportaba como el punto más frío de la región del Alto Valle y obtuvo una correlación entre la temperatura del aire en Alto Valle y varios puntos de observación en el interior del valle. Calculó, además, rectas de regresión para utilizar con fines de pronóstico.

Flores y otros (1993a) y Flores y otros (1995) han realizado las experiencias de campo denominadas MECIN (Mediciones de la Capa de Inversión Nocturna), dentro del proyecto de Adversidades Meteorológicas y Tecnologías de Protección de la Universidad Nacional del Comahue, destinadas al estudio de los perfiles verticales de temperatura del aire e intensidad del viento en cortes transversales a los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro.

Duarte (1993) estudió las características de la variabilidad espacio- temporal de las temperaturas en la troposfera y en la estratosfera baja en Argentina durante el período 1965-1982, por medio de funciones empíricas ortogonales. Obtuvo las principales características del perfil vertical de temperatura en tres regiones climáticas. Los coeficientes temporales de las series fueron analizados como indicadores de variaciones temporales. Los resultados indicaron que había una tendencia homogénea a un calentamiento en verano en la troposfera (enfriamiento en el caso de la estratosfera) en regiones tropicales y latitudes medias.

Duarte (1994) analizó las variaciones de las temperaturas medias mensuales de la troposfera y baja estratosfera en las estaciones Resistencia, Córdoba, Ezeiza, Neuquén y Comodoro Rivadavia. En todas ellas, la temperatura media en la troposfera media y baja estratosfera aumentó a partir de mediados de la década del 60. En Neuquén, las series de temperaturas medias de la capa 850-400 hPa del período 1965-84 muestran una tendencia positiva de 0.8 °C/10 años.

Lässig y otros (1999) realizaron estudios vinculados a tormentas con vientos intensos en la zona de los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro, concluyendo que los vientos intensos en la región se encuentran asociados a distintas situaciones sinópticas: pasajes de depresiones, situaciones de viento zonda, pasajes de frentes fríos, ocurrencia de tormentas convectivas y desplazamiento de ciclones por el Pasaje de Drake durante el período primavera - verano. Sugirieron además, la elección de un perfil potencial para el viento en la capa de superficie en los casos de vientos superiores a 4.5 m/s, cuyo exponente varíe con la estabilidad atmosférica.

Escobar y otros (1996a) describieron el comportamiento de la troposfera y la baja estratosfera en Neuquén y su relación con los enfriamientos ocurridos en superficie asociados a la ocurrencia de heladas durante el mes de septiembre. En la troposfera se observó un calentamiento previo al pasaje de sistemas frontales coincidente con una disminución continua de la presión en superficie, precediendo a descensos bruscos de temperatura en Neuquén que en ocasiones producían heladas.

Escobar y otros (1996b) examinaron los campos sinópticos asociados con las heladas sobre Neuquén durante el mes de septiembre por medio de dos métodos: el método de Lund (1963) y el método de las componentes principales. Para el conjunto de datos que sólo incluyeron días con heladas se obtuvieron resultados similares con ambos métodos. Las situaciones sinópticas definidas por 1000 hPa que presentan heladas en Neuquén, corresponden a tres tipos: entrada de un anticiclón posfrontal con un eje aproximadamente en 30°S, un anticiclón posfrontal con un eje aproximadamente en 45°S y un puente anticiclónico entre 30°S y 55°S. El análisis de 500 hPa presenta como resultado dos patrones fundamentales: una vaguada de onda corta con eje entre 30° W y 65° W y una cuña orientada WNW a ESE al norte de 45°S.

Lässig y otros (1998) analizaron los datos de la capa de inversión nocturna en noches con condiciones de heladas radiativas. La variación de la temperatura con la altura presenta valores importantes principalmente en los valles de los ríos Neuquén y Limay. Los valores medidos son 0.20 °C/m en San Patricio del Chañar, 0.27 °C/m en Cinco Saltos, 0.24 °C/m en Colonia Valentina, 0.14 °C/m en Allen y 0.13 °C/m en Gral Roca, los perfiles de velocidad del viento, muestran una cortante muy marcada entre los primeros metros cerca de la superficie y la capa superior, presentando una configuración en dos capas.

2.2 ASPECTOS GENERALES DE LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA EN EL ALTO VALLE

Una de las principales actividades que influyen considerablemente en la economía de la región comprendida por las provincias de Río Negro y Neuquén, es la frutícola, y en menor medida la hortícola.

El comportamiento de los factores meteorológicos, influye en promedio en un porcentaje entre 5 y el 6% de la producción frutícola anual en el Alto Valle (Lässig y otros, 1987).

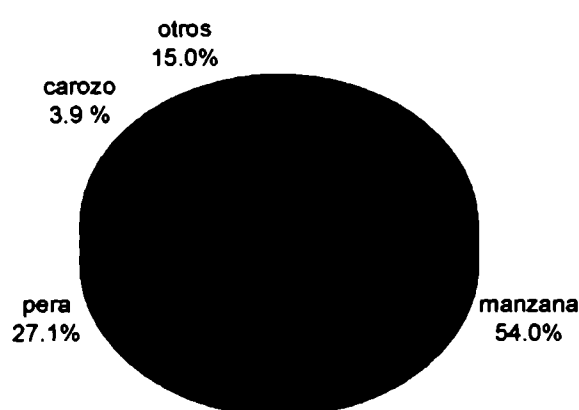


Fig. 2.1: Porcentajes de superficie cultivada en el Alto Valle (Gobierno de Río Negro, 1994).

En el Alto Valle, el 60.0 % de la superficie total es cultivada, representando un total de 41671 hectáreas (Gobierno de Río Negro, 1994). De esas hectáreas cultivadas, el 84.6 % está ocupada con frutales, correspondiendo el 54.0 % a manzanos, el 27.1 % a perales, el 3.9 % a frutales de carozo y el 15.0 % restante a otros tipos de frutales (Fig. 2.1).

En el período 1991-1993 se incrementaron notablemente plantaciones de perales, alcanzando una superficie media de 1008 ha/año. En años anteriores la superficie incorporada promediaba 370 ha/año. Este incremento se explica por la mejora en los precios alcanzados en el mercado por dicha especie.

Las principales variedades de manzanas plantadas en la región son la Red Delicious con el 68.8 % de la superficie ocupada por manzanas y la Granny Smith con el 25.2 % (estos porcentajes son obtenidos considerando la superficie total de la provincia de Río Negro).

Las variedades de perales dominantes, tanto en superficie como en número de plantas son: William's con el 42%, Packham's Triumph con el 32.4 % y Beurre D'Anjou con el 10.3% (Gobierno de Río Negro, 1994).

El 34 % (11985 ha) de la superficie con cultivos de frutales se encuentra protegido con algún sistema activo de lucha contra heladas, siendo los métodos más utilizados, la calefacción

y el riego por aspersión. El 30% de la superficie con manzanos, el 50% de la superficie productiva de peras, y el 29% de la superficie con frutas de carozo son protegidas activamente.

2.3 LAS HELADAS Y LA PRODUCCIÓN EN LOS VALLES DE LOS RÍOS NEUQUÉN, LIMAY Y NEGRO

La temperatura del aire y del suelo, las precipitaciones y la radiación solar incidente son los elementos meteorológicos que principalmente actúan sobre la producción primaria.

Los principales fenómenos meteorológicos que tienen marcada influencia adversa por su frecuencia y por las características de la actividad frutícola en los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro, son las heladas tardías, los vientos intensos y las precipitaciones de granizo.

Las heladas tardías representan para la región de los valles de los ríos Limay, Neuquén y Negro, uno de los mayores riesgos para la actividad frutihortícola, llegando a ocasionar grandes pérdidas económicas. Debido a ello, año tras año, se invierten importantes sumas de dinero en la aplicación de métodos destinados a luchar contra las mismas (de Garín, 1992).

Las exigencias meteorológicas del vegetal varían en forma notable según el momento del desarrollo. El perjuicio que ocasionan los factores meteorológicos en la producción depende de la fase fenológica en que se encuentre el frutal. Los fenómenos periódicos asociados al crecimiento de los órganos de las plantas como la floración, producción de hojas y frutos, etc. (*fases fenológicas*), tienen relación con las condiciones ambientales durante la época de descanso vegetativo y con las condiciones ambientales durante la aparición, transformación o desaparición de los órganos de la planta.

La determinación de la aptitud agroecológica de una región supone la valoración de los recursos del clima y de suelos existentes para su utilización con fines agrícolas. Cada cultivo tiene exigencias de determinados factores climáticos y edáficos que son propios de esa especie o variedad y que si no son satisfechos, su explotación no es posible (Ravelo y otros, 1991).

Además, la evolución de la temperatura durante el año, junto con la variación temporal de la duración del período diurno y el aporte de humedad, son los factores que regulan la ocurrencia de los estados fenológicos (Ruggiero, 1955).

Los árboles de follaje caduco necesitan durante su período de inactividad fenológica determinadas condiciones de duración e intensidad de frío para poder reiniciar su actividad en la primavera siguiente. Cuando la temperatura en invierno es insuficiente para satisfacer las exigencias en frío de los vegetales, se producen anomalías fenológicas de importancia. La falta de frío invernal produce anomalías fenológicas en la floración, brotación, fructificación, longevidad y rendimiento de los árboles (Ruggiero, 1955). La ocurrencia precoz de una fase (brotación, floración, etc.) implica en una región con las características de latitudes medias un mayor riesgo de exposición a heladas tardías.

Si bien, durante la época de descanso vegetativo, los frutales necesitan de la ocurrencia de temperaturas bajas, en el período de floración crítico dichas temperaturas pueden ocasionar daños severos a la producción.

En este trabajo se hará hincapié, principalmente en el análisis de la temperatura del aire durante los meses de septiembre y octubre que son los meses en que las bajas temperaturas pueden afectar de manera adversa la producción frutícola.

HELADAS

A los fines del presente trabajo se define como helada a la ocurrencia de temperaturas del aire por debajo de 0°C a una altura de 1.5 m sobre el suelo. La helada es la condición relativa debida a la falta de calor por reducción del ingreso o por la liberación de calor del objeto o sistema considerado (Blanc y otros, 1969).

Las heladas pueden dividirse en dos clases principales: heladas advectivas o heladas radiativas, aunque debe considerarse además un caso en el que la pérdida de calor se debe a la evaporación (Blanc y otros, 1969).

El primer caso, en el que se consideran las olas de frío y que ocurren con condiciones de viento, la mayoría de las medidas de defensa no son efectivas. Las heladas radiativas en el que se considera la pérdida de calor por radiación y se asocian a períodos nocturnos en épocas primaverales o a principios del otoño, ocurren a menudo en conexión con anticiclones de desplazamiento muy lento con aire moderadamente frío y seco. Se asocian a condiciones de cielo despejado y vientos muy débiles o calma. Es posible además que varias noches después de un episodio de helada advectiva ocurra una helada por radiación.

El aire en contacto con la superficie radiante es enfriado por conducción formando una capa de aire más frío y denso que tiende a ocupar los lugares más bajos del terreno, desplazándose por gravedad. El efecto de la nubosidad y el viento sobre la inversión de temperatura es notorio

las nubes reducen la pérdida radiativa, re-irradiando la energía y los vientos producen mezcla del aire superior más caliente con el aire frío de niveles bajos (Blanc y otros, 1969).

Debido a que por su frecuencia e intensidad son de importancia económica en el presente trabajo se considerarán principalmente las heladas radiativas.

El momento en que debe emprenderse la lucha contra las heladas y la duración de la misma, dependen de la variedad cultivada, del método de lucha a utilizar y de las condiciones imperantes en la atmósfera y el entorno.

Durante la noche se presenta inversión de temperatura debido a las condiciones de la radiación nocturna, y a la presencia de cielo despejado y bajo contenido de humedad. La temperatura decrece rápidamente a partir de las últimas horas de la tarde alcanzando valores bajo cero algunas horas antes del amanecer.

El efecto de las heladas depende de la resistencia de las células vegetales a los daños ocasionados por la formación de hielo.

La formación de cristales de hielo en los tejidos vegetales pueden causar daños e incluso la muerte de los órganos de la planta. En general los problemas más serios se presentan en las partes de la planta que se encuentran en crecimiento.

La temperatura crítica para la planta es la temperatura que soporta el órgano frutal. En las etapas de yemas florales y primeras flores es -3.9°C tanto para el manzano como para el duraznero. Aumentan a -2.2°C y -2.8°C respectivamente, en la etapa de plenitud y son de -1.7°C y -1.1°C en la etapa de fin de últimas flores y pequeños frutos verdes (Young, 1947). La duración de la floración disminuye de las variedades muy precoces a las muy tardías oscilando entre 8 días en las variedades con comienzo de la floración el día 17 de octubre y 19 días en las variedades que tienen comienzo de la floración el 27 de septiembre (Ruggiero, 1955).

Temperaturas menores a las temperaturas críticas durante esos períodos, provocan pérdidas de frutos o daños de distinta magnitud que repercuten en el valor de venta de las frutas.

Tabla 2.i: Fecha media de plena floración (F2: método de Fleckinger) para manzanos y perales en la estación Experimental Alto Valle (INTA) en el período 1960-1994, (Tassara, 1995) y para frutas de carozo en Cinco Saltos (Cordon y otros, 1997) en el período 1980-1992.

| Variedad | Fecha Media de plena Floración |
|-------------------------|---------------------------------------|
| Manzano | |
| Red Delicious | 29/09 |
| Granny Smith | 27/09 |
| Rome Beauty | 08/10 |
| Peral | |
| D'Anjous | 20/09 |
| Packam's T. | 23/09 |
| Frutas de carozo | 09/09 |

Las fechas medias de plena floración para manzanos y perales ubicados en la estación Experimental Alto Valle (INTA), (Tassara, 1995) entre 1960 y 1994 y para frutas de carozo registradas en la estación Cinco Saltos entre 1980 y 1992 (Cordon y otros, 1997) son las que se presentan en la Tabla 2.i. Por lo tanto, las heladas tardías que afectan la floración, ocurren a partir del 10 de septiembre para los durazneros y del 8 de octubre para la manzana (Tassara, 1995; Cordon, y otros, 1997), variando según las condiciones climáticas del invierno y primavera en alrededor del 14% del total de las heladas.

El estudio de las características que rigen el comportamiento de la temperatura en la región es de gran importancia para la diagramación de actividades destinadas a la protección de los cultivos contra los daños ocasionados por las bajas temperaturas, especialmente por las denominadas heladas tardías.

2.4 GENERALIDADES DEL FENÓMENO DE LA HELADA EN LOS VALLES DE LOS RÍOS NEUQUÉN, LIMAY Y NEGRO

En mediciones de campo realizadas durante los años 1992 a 1996 en el transcurso de la experiencia MECIN (Mediciones de la Capa de Inversión Nocturna) se observó, que el fenómeno de heladas en la región, muestra una gran variabilidad espacial, ya que intervienen

factores de distintas escalas: sinóptica, meso y micrometeorológica y especialmente, las características locales del relieve y el suelo (Flores y otros, 1994b).

La Figura 2.2 muestra el número medio mensual de días con heladas en las estaciones meteorológicas Neuquén, Cipolletti y Alto Valle en el período 1961 a 1990, en Villa Regina en el período 1961 a 1970 y en la estación Cinco Saltos en el período 1972 a 1992. La mayor cantidad de días con heladas se presenta en el mes de julio en todas las estaciones consideradas, excepto en Villa Regina en que el máximo ocurre en Junio. En los meses de septiembre y octubre en los que la ocurrencia de temperaturas bajo cero representa riesgo para la actividad frutícola, el número medio de días con heladas es mucho menor que en invierno. La cantidad media de días con heladas entre los meses de septiembre y octubre es 10 días en Villa Regina, 8.7 días en Alto Valle, 8.3 días en Cinco Saltos, 5.4 días en Neuquén y 3.5 días en Cipolletti. Alto Valle y Cinco Saltos presentan un comportamiento muy similar durante todo el año. En Cipolletti se observa la menor cantidad media de días con heladas durante todo el año y en Villa Regina la mayor cantidad.

Si bien los valores descienden notablemente a medida que avanza la primavera, en el período considerado se han presentado heladas en noviembre y diciembre.

Pascale y otros (1997) presentan la fecha media de última helada en el Alto Valle el 6 de octubre para el período 1903-1953 y el 24 de septiembre para el período 1957-1992 en la estación Cipolletti y el 6 de octubre para el período 1965-1988 para la estación Alto Valle. La desviación estándar es aproximadamente 17 días. Cordon y otros (1997), obtuvieron como fecha media de la última helada para la estación Cinco Saltos el 12 de octubre, con una desviación estándar de 22 días. El mayor rigor de las heladas se encuentra entre -7.1°C y -8.0°C aunque

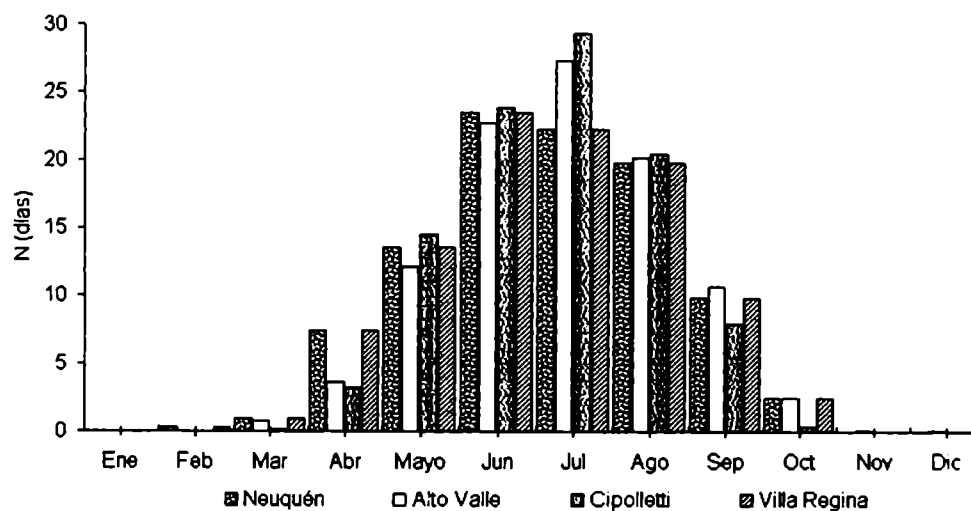


Fig. 2.2: Número medio mensual de días con heladas en las estaciones meteorológicas Neuquén, Cipolletti y Alto Valle en el período 1961 a 1990, en Villa Regina en el período 1961 a 1970 y en la estación Cinco Saltos en el período 1972 a 1992.

la frecuencia de ocurrencia es muy baja. Para el mes de septiembre las mayores frecuencias se encuentran en las heladas de -1.0°C (33%) y con heladas entre -1.1°C y -2.0°C (25%), un menor porcentaje (18%) es representado por heladas entre -2.0°C y -3.0°C . En octubre, aumenta el porcentaje de casos con menor rigor, disminuyendo los casos de heladas más rigurosas.

El fenómeno de las heladas es muy variable en cuanto a su intensidad, ocurrencia y duración (Burgos, 1963). Por ejemplo, la noche del 31 de septiembre al 1 de octubre de 1994 se registró una helada en el Alto Valle, en Allen alcanzó -4.0°C con una duración de 9.5 h, en Barda del Medio la temperatura descendió hasta -1.2°C , con una duración de la helada de 4 h y en Cinco Saltos se registró -3.8°C y la helada duró 8 horas.

Diversos autores, proponen modelos para el pronóstico de temperaturas mínimas basados en relaciones estadísticas o físicas (Flores y otros, 1991; Coronel y otros, 1996; Figuerola y Mazzeo, 1997) y su factibilidad de utilización en lugares puntuales.

RESUMEN

El comportamiento de los factores meteorológicos, muchas veces actúa de forma decisiva sobre la producción frutícola primaria anual, llegando en el Alto Valle a una influencia promedio entre el 5 y el 6%. Las heladas tardías representan para la región de los valles de los ríos Limay, Neuquén y Negro, uno de los mayores riesgos para la actividad frutihortícola, llegando a ocasionar grandes pérdidas económicas.

En el Alto Valle, el 60.0 % de la superficie total es cultivada, representando un total de 41671 hectáreas. De esas hectáreas cultivadas, el 84.6 % está ocupada con frutales, correspondiendo el 54.0 % a manzanos, el 27.1 % a perales, el 3.9 % a frutales de carozo y el 15.0 % restante a otros tipos de frutales.

La mayor cantidad de días con heladas se presenta en el mes de julio en todas las estaciones consideradas, excepto en Villa Regina en que el máximo ocurre en Junio.

La cantidad media de días con heladas entre los meses de septiembre y octubre es 10 días en Villa Regina, 8.7 días en Alto Valle, 8.3 días en Cinco Saltos, 5.4 días en Neuquén y 3.5 días en Cipolletti. Alto Valle y Cinco Saltos presentan un comportamiento muy similar durante todo el año Cipolletti se observa la menor cantidad media de días con heladas durante todo el año y en Villa Regina la mayor cantidad.

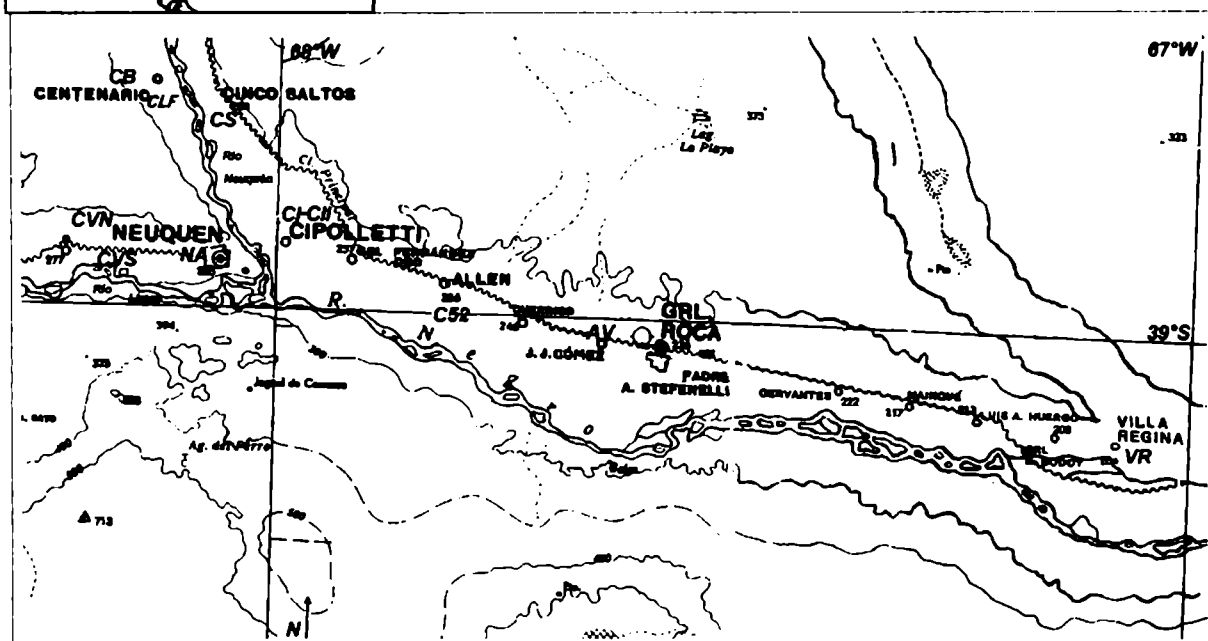
El mayor rigor de las heladas se encuentra entre -7.1°C y -8.0°C aunque la frecuencia de ocurrencia es muy baja. Para el mes de septiembre las mayores frecuencias se encuentran en las heladas de -1.0°C (33%) y con heladas entre -1.1°C y -2.0°C (25%), un menor porcentaje (18%) es representado por heladas entre -2.0°C y -3.0°C . En octubre, aumenta el porcentaje de casos con menor rigor, disminuyendo los casos de heladas más rigurosas.

La fecha media de última helada en el Alto Valle es el 6 de octubre para el período 1903-1953 y el 24 de septiembre para el período 1957-1992 en la estación Cipolletti y el 6 de octubre para el período 1965-1988 para la estación Alto Valle (Pascale y otros, 1997).

Las heladas tardías que afectan la floración son las que ocurren a partir del 10 de septiembre para los durazneros y del 8 de octubre para la manzana (Tassara, 1995; Cordon, y otros, 1997).

La Fig. 3.1 muestra un esquema del área en estudio, que incluye desde la localidad de Centenario ($38^{\circ} 49' 44''$ S; $68^{\circ} 09' 04''$ W) al NW, Plottier ($38^{\circ} 58' 43''$ S $68^{\circ} 13' 57''$ W) y Colonia Valentina ($38^{\circ} 58' 27''$ S $68^{\circ} 07' 51''$ W) al SW, hasta Villa Regina ($39^{\circ} 05' 27''$ S $67^{\circ} 05' 14''$ W) al E y su ubicación en Argentina. La región presenta dos valles: el valle del río Neuquén y el del río Limay que se unen en un punto cercano a la ciudad de Neuquén. A partir de allí el nuevo cauce se denomina Río Negro. Estos valles están dispuestos con dirección NW-SE y son conocidos como Alto Valle del Río Negro.

A map of Argentina with the word "ARGENTINA" at the top. An arrow points from the word to the country's outline. In the southern part of the map, the word "PATAGONIA" is written. A small black rectangle in Patagonia is labeled "ZONA DE ESTUDIO" with a line pointing to it.



Marisa Cogliati / 11

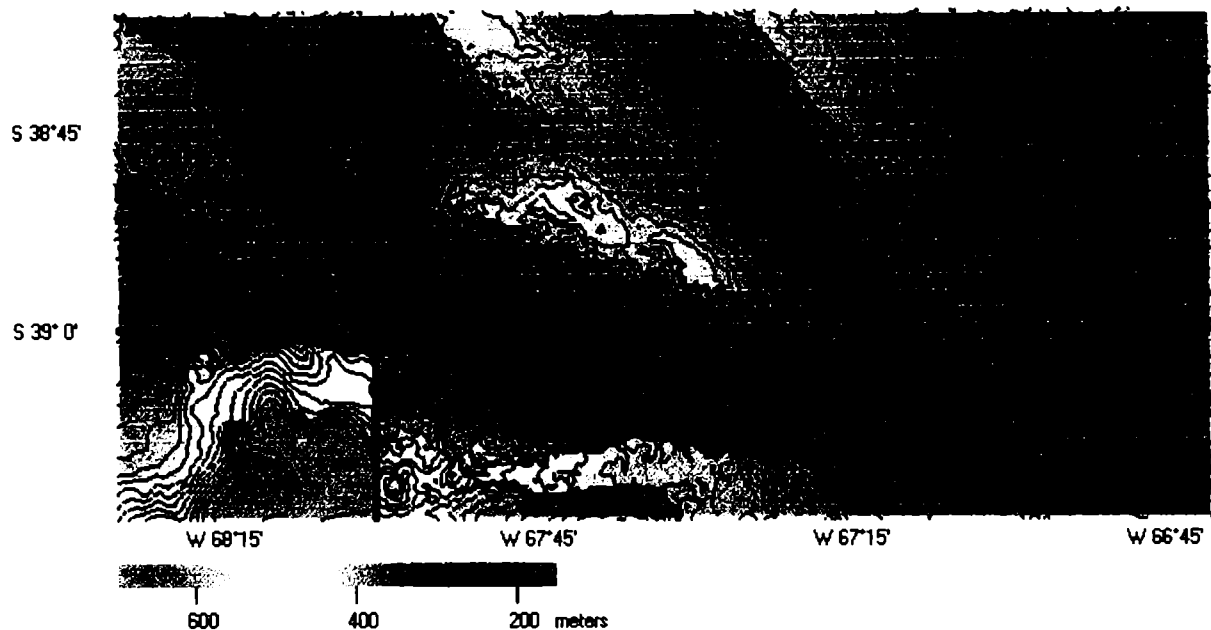


Fig.3.2: Detalle cada 10 m de la elevación del terreno en la zona de los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro.

el borde norte y 1.0 °/km en el borde sur.

La Fig. 3.3 muestra los perfiles topográficos de la provincia del Neuquén para las latitudes de 38°S, 39°S y 40°S (Hoffmann, 1988). En ellos, se puede observar que la pendiente del terreno descende continuamente hacia el Este. Esto se pone de manifiesto en la altura sobre el nivel del mar de las estaciones meteorológicas utilizadas en este trabajo (ver Tabla 3.i), siendo Villa Regina la estación con menor altura, ubicada en el extremo Este de la zona estudiada.

La Figura 3.4 muestra un corte tridimensional del valle del Río Negro. Este valle es ancho y poco profundo con descensos en forma de escalón en ambos bordes, esta configuración se mantiene en los valles del río Neuquén y Limay. La escala vertical ha sido aumentada 30 veces.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS DEL ENTORNO DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS

3.2.1 Área del Valle del río Limay

3.2.1.1 Estación Neuquén Aero (NA)

Neuquén Aero es una estación meteorológica perteneciente a la red sinóptica del Servicio Meteorológico Nacional. Se encuentra emplazada en el Aeropuerto Internacional Neuquén (ver Figura 3.1 y Tabla 3.i), ubicada en un claro entre la zona de chacras y la zona suburbana de la ciudad, a 8 km de la zona céntrica de la ciudad de Neuquén y aproximadamente a 500 m del borde norte de la meseta (barda). En el sector E a SE se encuentra rodeada por obstáculos dispuestos en una línea de 200 m de longitud una altura media de 7 m. A 150 m al W se ubica el edificio central del aeropuerto y entre el N y NW la pista. En esta estación se efectúan observaciones meteorológicas horarias con instrumentos convencionales.

Tabla 3.i: Ubicación y altura sobre el nivel del mar de las distintas estaciones consideradas.

| Estación | Ref | Latitud | Longitud | altura snm (m) | funciona actualmente |
|--------------------|--------------|------------|------------|----------------------|-------------------------|
| Allen C52 | C52 | 39° 01'05" | 67° 50'14" | 252 | Si |
| Alto Valle | AV | 39° 01'37" | 67° 39'37" | 242 | No |
| Centenario Barda | CB | 38° 49'46" | 68° 11'09" | 310 | No |
| Centenario Valle | CLF | 38° 49'44" | 68° 09'04" | 288 | No |
| Cinco Saltos | CS | 38° 50'22" | 68° 03'46" | 284 | Si |
| Cipolletti | CI | 38° 57' | 67° 59' | 265 | No |
| Cipolletti II | CI II | 38° 57' | 67° 58' | 265 | Si |
| Col. Valentina Sur | CVS | 38° 58'27" | 68° 07'51" | 267 | No |
| Neuquén Aero | NA | 38° 57' | 68° 08' | 271 | Si |
| Villa Regina | VR | 39° 09'27" | 67° 05'14" | 205 | Si |

3.2.1.2 Estación Colonia Valentina Sur (CVS)

Se encontraba ubicada en la zona WSW de la ciudad de Neuquén (ver Figura 3.1 y Tabla 3.i), en una zona de chacras, cercana a un barrio de la localidad del mismo nombre. La chacra en la que está ubicada se encuentra en las inmediaciones del río Limay. La estación estaba ubicada en una plantación de manzanas de la empresa Tres Ases. Los datos fueron obtenidos por medio de una estación meteorológica automática DAVIS que los registraba a intervalos de 1 minuto. En la época en que se efectuaron las mediciones utilizadas en el presente trabajo, no se realizó lucha activa contra heladas.

3.2.2 Área del Valle del río Neuquén:

3.2.2.1 Estación Cinco Saltos (CS):

Cinco Saltos es una estación tipo agrometeorológica. Se encuentra ubicada en una chacra perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Comahue a 5 km de la localidad de Cinco Saltos (ver Figura 3.1 y Tabla 3.i). La estación contaba con instrumentos convencionales en los que las observaciones se realizaban a través de la lectura de instrumentos convencionales cada tres horas y se imprimían por registros continuos. Actualmente se opera además una estación meteorológica automática marca METOS. Su instrumental está instalado en un claro, a unos 300 m de los edificios de la Facultad, que en el período considerado en el presente trabajo, se encontraba rodeado en los sectores Norte, Oeste y Sur por cuadros de árboles frutales (de aproximadamente 4 m de altura) y en el sector Este por un grupo de sauces de aproximadamente 10 m de altura a unos 50 m de distancia, que producían

sombra al amanecer. Durante el período en que se efectuaron las mediciones utilizadas en el presente trabajo, no se realizó lucha activa contra heladas.

3.2.2.2 Estación Centenario Barda (CB):

Esta estación automática DAVIS se encontraba instalada al WSW de la localidad de Centenario (ver Figura 3.1 y Tabla 3.i) en una torre perteneciente al Ente Provincial de Energía del Neuquén emplazada sobre la barda oeste, en una zona con vegetación esteparia. Los sensores de temperatura estaban colocados a 3 m y a 15 m sobre el nivel de superficie y el anemómetro a 15 m.

Las lecturas en el nivel superior se identificarán como CBS y las lecturas en el nivel inferior se identificarán como CBI.

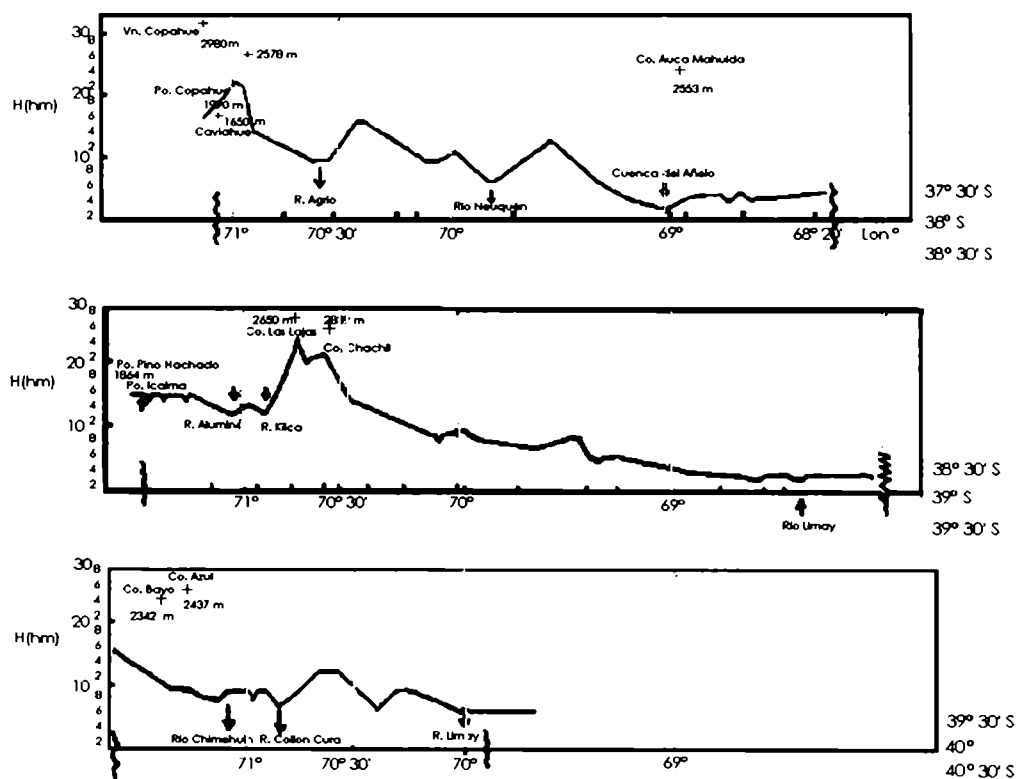


Fig.3.3: Perfiles topográficos de la provincia de Neuquén, cortes latitudinales a 38°S, 39°S y 40°S. (Hoffmann, 1988)

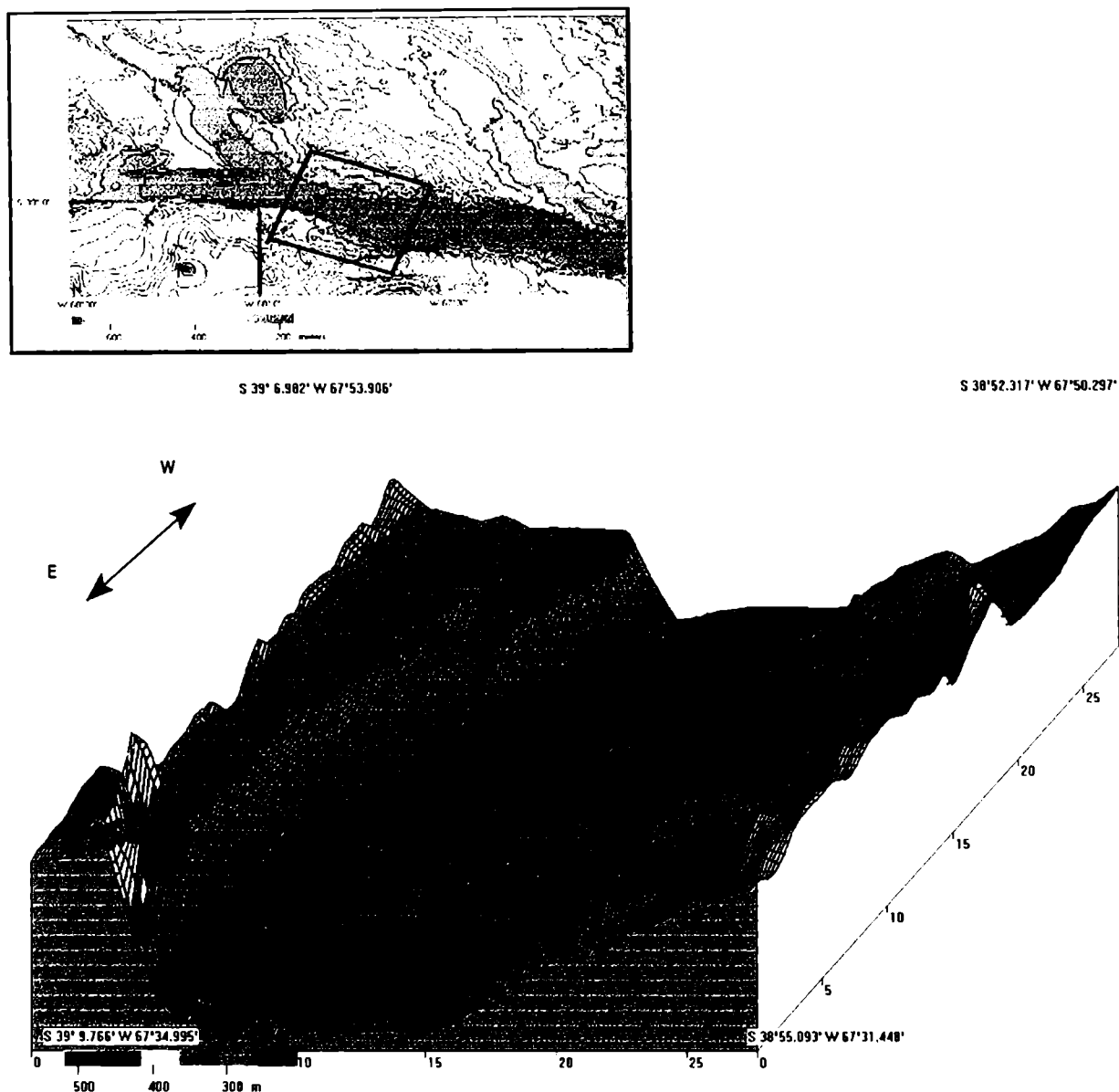


Fig. 3.4: Esquema tridimensional del relieve en la zona del valle del Río Negro. La zona descrita se señala en el cuadro superior. La escala vertical está exagerada (aproximadamente 30 veces) con respecto a la escala horizontal. El punto de observación es mirando hacia la ciudad de Neuquén .

3.2.2.3 Estación Centenario Valle (C.L.V):

Esta estación fue ubicada en el extremo N de la localidad de Centenario (ver Figura 3.1 y Tabla 3.i), en una zona de chacras. La estación estaba instalada al norte de la vivienda de la Cooperativa La Flor. Los datos fueron obtenidos por medio de una estación meteorológica automática DAVIS a intervalos de 1 minuto durante periodos nocturnos. Al norte de los sensores, se encontraba un predio sin plantas y a ambos lados se podían observar álamos de poca altura. En la época en que se efectuaron las mediciones utilizadas en el presente trabajo, no se realizó lucha activa contra heladas.

3.2.3 Área del Valle del Río Negro

3.2.3.1 Estación Allen (C52)

La Estación Allen se encuentra en el interior de la chacra N°52 en la localidad de Allen (ver Figura 3.1 y Tabla 3.i), colocada aproximadamente a 50 m de distancia del edificio que sirve de vivienda y dentro de un cuadro con hileras de durazneros. En la época en que se efectuaron las mediciones utilizadas en el presente trabajo, no se realizó lucha activa contra heladas. Los registros se efectuaron por medio de una estación meteorológica automática DAVIS que obtenía datos cada minuto.

3.2.3.2 Estaciones Cipolletti: (CI) y Cipolletti II (CI y CII)

La estación CI se encontraba ubicada en las afueras de la localidad de Cipolletti (ver Figura 3.1 y Tabla 3.i). Posteriormente la construcción de caminos en el lugar determinó que su ubicación fuera cambiada. Actualmente CII se encuentra en un predio ubicado en los suburbios de la ciudad. Es una estación climatológica. Los datos son obtenidos por medio de instrumentos convencionales observados 3 veces al día. El instrumental se encuentra instalado en un sector con muy pocos obstáculos cercanos.

3.2.3.3 Estación Alto Valle (AV):

Esta estación se encontraba ubicada cercana a la zona de chacras de la localidad J.J. Gómez (ver Figura 3.1 y Tabla 3.i) era una estación agrometeorológica. Los datos eran obtenidos por medio de instrumentos convencionales observados cada 3 h y mediante registradores continuos. El instrumental estaba instalado en un sector despejado. Aproximadamente 10 m al norte y 10 m hacia el Sur se podían observar dos grupos de álamos, paralelos a sendos canales de riego con circulación de agua. Actualmente está discontinuada.

3.2.3.4 Estación Villa Regina (VR):

La estación Villa Regina (ver Figura. 3.1 y Tabla 3.i) está ubicada también cercana a una zona de chacras en inmediaciones de dicha ciudad, en un predio despejado perteneciente a la Municipalidad de Villa Regina. El predio está a 50 m de un calle asfaltada y se observan pastos de aproximadamente 0.60 m de altura. Los datos son obtenidos por medio de instrumentos convencionales observados cada 3 h y por medio de registradores continuos.

4. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA UTILIZADA

4.1. DATOS

La información utilizada en este estudio consiste de datos horarios de temperatura del aire de las estaciones meteorológicas: Cinco Saltos (CS), Alto Valle (AV) y Villa Regina (VR) y temperatura y dirección e intensidad del viento de la estación Neuquén Aero (NA) para los meses de septiembre y octubre de 1988 y 1989. La información proviene de mediciones realizadas con instrumentos convencionales.

Además de la información proveniente de las estaciones meteorológicas convencionales mencionadas, se utilizaron datos obtenidos mediante estaciones automáticas DAVIS WEATHER MONITOR II instaladas en las localidades denominadas: Colonia Valentina Sur (CVS), Allen Chacra N°52 (C52) y Centenario Valle (CLF) con sensores de temperatura a 1.5 m y de viento a 3 m y Centenario Barda (CB) con sensores de temperatura a 3 m sobre el nivel de superficie (CBI) y de temperatura y viento a 15 m (CBS). En esos lugares se cuenta con datos a intervalos de 1 y 15 minutos, según lo detallado en la Tabla 4.i. Estos puntos de medición fueron elegidos de manera de obtener información de lugares ubicados en los distintos valles.

Los datos de las estaciones meteorológicas automáticas fueron obtenidos en el transcurso del proyecto MECIN que se llevó a cabo entre 1992 y 1998 en los meses de septiembre y octubre. (Flores y otros, 1993a, 1993b, 1994a, 1994b).

También se utilizaron los datos de las estadísticas climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (Servicio Meteorológico Nacional, 1981, 1986, 1992).

4.2 INFORMACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS

La información en las estaciones meteorológicas no convencionales fueron obtenidos mediante los sensores de las estaciones meteorológicas automáticas DAVIS Weather Monitor II, almacenada en el soporte denominado Weather Link y recuperada por medio de una PC-portatil. Las características del instrumental se detallan en la Tabla 4.ii.

Se corrigieron las fechas y unidades en los casos en los cuales se detectaron problemas en la inicialización de los datos y se efectuó una consistencia gráfica de la información. Debido a que los períodos fueron elegidos de manera que la información estuviera completa, no fue necesario efectuar un relleno de las series, solamente presentó una falta esporádica de datos. Las series consideradas se incluyen dentro de los meses de septiembre y octubre de 1993 y 1994 (ver detalle en Tabla 4.i).

Durante la campaña de 1993, los objetivos del Proyecto MECIN establecían un intervalo de medición de 1 min, pero los momentos en que fueron obtenidos los datos varían en las distintas estaciones debido a razones de índole operativa.

Tabla 4.i: Información meteorológica utilizada, (ff: intensidad del viento, dd: dirección del viento, T: temperatura del aire).

| Estación | | intervalo entre observaciones | ff | dd | T | Período considerado |
|-----------------------------|-----|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|---|
| Alto Valle | AV | Estadísticas (SMN) 1h 1h | x | x | x x x | 1961-1990 Set-Oct.1988 Set-Oct.1989 |
| Allen | C52 | 1min 15 min | x x | x x | x x | 1/9/93 a 5/9/93 1/10/94 a 13/10/94 |
| Centenario Barda | CB | 15 min 1 min | x x | x x | x x | 1/10/94 a 13/10/94 12/10/93 a 17/10/93 |
| Centenario Valle | CLF | 1 min | x | x | x | 12/10/93 a 17/10/93 |
| Cinco Saltos | CS | 1h 1h | | | x x | Set-Oct.1988 Set-Oct.1989 |
| Cipolletti | CI | Estadísticas(SMN) | x | x | x | 1961-1978 |
| Cipolletti II | CI | Estadísticas(SMN) | x | x | x | 1981-1990 |
| Colonia Valentina Sur | CVS | 30min | x | x | x | 1/10/94 a 13/10/94 |
| Neuquén | NA | Estadísticas(SMN) 1h 1h | x x x | x x x | x x x | 1961-1990 Set-Oct. 1988 Set-Oct. 1989 |
| Villa Regina | VR | Estadísticas(SMN) 1h 1h | x | x | x x x | 1961-1970 Set-Oct. 1988 Set-Oct. 1989 |

En la mayoría de los casos de las series del año 1993 se obtuvo sólo información nocturna, por lo que el criterio de elección de las series fue la unificación seleccionando cinco noches para cada estación considerada.

El período considerado como nocturno es un compromiso entre los datos existentes y los horarios de salida (8:30 h) y puesta del sol (20:30 h) en la latitud de la estación Neuquén. En los casos en que no fue posible mantener este criterio, se selecciona el horario de comienzo del registro y una duración de 12 h 18 min. La Tabla 4.iii muestra los horarios correspondientes al amanecer y el ocaso para distintas fechas en los meses considerados.

Tabla 4.ii: Especificaciones de las estaciones DAVIS WEATHER MONITOR II

| Variable | Intervalo de medición | Resolución |
|----------|-----------------------|------------|
| T(°C) | (-45 a 60) °C | ±0.1°C |
| ff(m/s) | (0 a 56) m/s | 0.1 m/s |
| dd | 16 direcciones | 22.5° |
| P(hPa) | (888.0 - 1080.0) hPa | 0.1 hPa |

Tabla 4.iii: Horario del amanecer y el ocaso durante septiembre y octubre en Neuquén.

| FECHA MEDIA | AMANECER | OCASO |
|-------------|----------|-------|
| 5/9 | 7:50 | 19:10 |
| 30/9 | 7:09 | 19:34 |
| 5/10 | 7:01 | 19:39 |
| 30/10 | 6:26 | 20:05 |

La información obtenida en 1994 es homogénea con respecto al período de registro. En todas las estaciones se midió entre el 1/10/94 y el 13/10/94, durante día y noche, cada 15 min, a excepción de la estación CVS, donde el intervalo de medición fue de 30 min. La información obtenida en 1993 comprende períodos consecutivos no simultáneos en las dos estaciones consideradas.

4.3. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

4.3.1 Relleno de la información faltante

La información horaria de las estaciones Neuquén Aero (NA), Alto Valle (AV), Cinco Saltos (CS) y Villa Regina (VR) fue obtenida en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y en la Universidad Nacional del Comahue (UNC) en planillas, ingresada a planilla electrónica, rellena y consistida según el procedimiento detallado a continuación.

Los datos horarios corresponden a los meses de septiembre y octubre. Estos meses fueron elegidos debido a que corresponden al período en que se registran heladas tardías (ver Capítulo 2) y estas representan un riesgo importante para la producción de las variedades de manzana y frutas de carozo que se producen en la región (Tabla 2.i).

Los datos faltantes fueron completados reemplazándolos por un promedio de los valores obtenidos por medio de regresiones lineales entre la serie a rellenar y cada una de las series restantes (Tabla 4.xiii y Tabla 4.xiv) en el caso de las series horarias. En todos los casos las series estaban muy correlacionadas entre sí y los coeficientes de correlación eran significativos al 95% (ver Tablas 4.iii y 4.iv). En el caso de las series a intervalos de 15 min y 1 min, debido a que la cantidad de datos faltantes era ínfima y sólo faltaba esporádicamente un dato, no un intervalo de datos, éstos se rellenaron utilizando interpolación lineal.

Las series horarias utilizadas presentaron datos faltantes, no correlativos que llegan como máximo al 4% del total de la serie (Estación Alto Valle). La información obtenida con estaciones meteorológicas automáticas durante septiembre y octubre de 1994 también presentó datos faltantes, pero no alcanzó el 0.1%. El bajo porcentaje de datos faltantes permite que el método pueda aplicarse a las series rellenadas sin la inclusión de sesgos significativos (ver Tablas 4.iv a 4.viii). Las definiciones de los parámetros estadísticos calculados en estas tablas se presentan en el Capítulo 6.

Uno de los estudios a realizarse en este trabajo consiste en el cálculo espectral utilizando la transformada discreta de Fourier. La aplicación de esta técnica, requiere que los datos estén igualmente espaciados y que las series estén completas. El primer requisito es cubierto por las series, que consisten en observaciones a intervalos de una hora, quince minutos y un minuto, pero el segundo exige la inserción de datos interpolados en los casos en que falten registros.

Tabla 4.iv: Parámetros estadísticos descriptivos de las series de datos horarios sin rellenar de la temperatura del aire de septiembre y octubre de 1988 para las estaciones Neuquén Aero, Cinco Saltos, Alto Valle y Villa Regina.

| Año 1988 | T | T _{Min.} | T _{Max.} | σ | Asimetría | Curtosis | N |
|--------------|-------|-------------------|-------------------|----------|-----------------------|----------|------|
| | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | | | |
| Neuquén Aero | 12.96 | -4.8 | 30.7 | 5.72 | $6.19 \cdot 10^{-2}$ | 2.906 | 1463 |
| Cinco Saltos | 12.15 | -5.4 | 29.7 | 6.07 | $-5.71 \cdot 10^{-2}$ | 2.86 | 1463 |
| Alto Valle | 12.53 | -5.9 | 31.6 | 6.45 | $1.44 \cdot 10^{-2}$ | 2.614 | 1428 |
| Villa Regina | 12.89 | -5.0 | 31.3 | 6.01 | $-8.60 \cdot 10^{-3}$ | 2.787 | 1464 |

Tabla 4.v: Idem Tabla 4.iv para los datos horarios de septiembre y octubre de 1989.

| Año 1989 | T | T _{Min.} | T _{Max.} | σ | Asimetría | Curtosis | N |
|--------------|-------|-------------------|-------------------|----------|-----------------------|----------|------|
| | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | | | |
| Neuquén Aero | 14.15 | -2.5 | 33.3 | 6.64 | $1.64 \cdot 10^{-1}$ | 2.63 | 1462 |
| Cinco Saltos | 13.29 | -4.4 | 32.7 | 7.08 | $2.31 \cdot 10^{-2}$ | 2.48 | 1464 |
| Alto Valle | 13.82 | -6.9 | 34.3 | 7.84 | $-1.33 \cdot 10^{-2}$ | 2.55 | 1404 |
| Villa Regina | 13.89 | -3.3 | 32.8 | 7.10 | $1.00 \cdot 10^{-2}$ | 2.57 | 1451 |

Tabla 4.vi: Parámetros estadísticos descriptivos de las series de datos horarios (rellenados) de temperatura del aire para septiembre y octubre de 1988.

| Año 1988 | T | T _{Min.} | T _{Max.} | σ | Asimetría | Curtosis | N |
|--------------|-------|-------------------|-------------------|----------|-----------|----------|------|
| | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | | | |
| Neuquén Aero | 12.96 | -4.8 | 30.7 | 5.72 | 6.02E-2 | 2.91 | 1464 |
| Cinco Saltos | 12.14 | -5.4 | 29.7 | 6.07 | -6.08E-2 | 2.86 | 1464 |
| Alto Valle | 12.56 | -5.9 | 31.6 | 6.44 | 5.82E-3 | 2.59 | 1464 |
| Villa Regina | 12.89 | -5.0 | 31.3 | 6.01 | -1.14E-2 | 2.79 | 1464 |

Tabla 4.vii: Idem Tabla 4.vi para los datos horarios de septiembre y octubre de 1989.

| Año 1989 | T | T _{Min.} | T _{Max.} | σ | Asimetría | Curtosis | N |
|--------------|-------|-------------------|-------------------|----------|-----------|----------|------|
| | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | | | |
| Neuquén Aero | 14.16 | -2.5 | 33.3 | 6.64 | .1631 | 2.63 | 1464 |
| Cinco Saltos | 13.28 | -4.4 | 23.7 | 7.09 | -2.36E-2 | 2.48 | 1464 |
| Alto Valle | 13.67 | -6.9 | 34.3 | 7.77 | 2.8E-2 | 2.57 | 1464 |
| Villa Regina | 13.83 | -3.3 | 32.8 | 7.11 | 2.26E-2 | 2.55 | 1464 |

Tabla 4.viii: Parámetros descriptivos de las series de datos horarios de la velocidad del viento de la estación Neuquén para los meses de septiembre y octubre de 1988 y 1989.

| | v | V _{Min.} | V _{Max.} | σ | Asimetría | Curtosis | N |
|----------|-------|-------------------|-------------------|----------|-----------|----------|------|
| | (m/s) | (m/s) | (m/s) | (m/s) | | | |
| Año 1988 | 3.85 | 0 | 19.54 | 2.79 | 1.20 | 2.45 | 1464 |
| Año 1989 | 3.42 | 0 | 15.94 | 2.63 | 1.14 | 1.63 | 1464 |

Como surge de la comparación de los valores obtenidos antes y después del relleno

(ver Tablas 4.iv, a 4.viii), los valores de los parámetros estadísticos básicos de las series (valor medio, desviación estándar), no difieren significativamente. Se comprobó que las varianzas y los valores medios no difieran entre sí al 95 % utilizando el test t-Student para la media y el test F de Fisher para las varianzas (ver Brooks y Carruthers, 1978).

Las series de intensidad y dirección del viento de la estación Neuquén, para el período utilizado fueron obtenidas completas, no habiendo sido necesaria ninguna operación de relleno.

Tabla 4.ix : Parámetros estadísticos descriptivos de la temperatura del aire entre el 1 y el 10/10/94 cada 15 min en CVS, C52, CBI y CBS .

| | T | T _{min} | T _{Max} | σ | Asimetría | Curtosis | N |
|-----|-------|------------------|------------------|----------|-----------|----------|------|
| | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | | | |
| C52 | 13.67 | 0.50 | 26.10 | 5.05 | 0.17 | -0.25 | 1204 |
| CVS | 13.53 | 0.20 | 25.60 | 4.89 | 0.09 | -0.33 | 602 |
| CBI | 15.82 | 1.90 | 39.60 | 6.98 | 0.74 | 0.13 | 1204 |
| CBS | 14.20 | 3.80 | 24.70 | 4.09 | 0.21 | -0.42 | 1204 |

Tabla 4.x : Parámetros estadísticos descriptivos de la intensidad del viento entre el 1 y el 10/10/94 cada 15 min en CVS, C52, y CBS

| | V | V _{min} | V _{Max} | σ | Asimetría | Curtosis | N |
|-----|-------|------------------|------------------|----------|-----------|----------|------|
| | (m/s) | (m/s) | (m/s) | (m/s) | | | |
| C52 | 0.32 | 0.00 | 3.10 | 0.54 | 2.11 | 4.64 | 1204 |
| CVS | 1.31 | 0.00 | 5.40 | 0.95 | 0.54 | 0.14 | 602 |
| CBS | 2.69 | 0.00 | 12.10 | 1.75 | 1.42 | 2.96 | 1204 |

Tabla 4.xi: Parámetros estadísticos descriptivos de la temperatura del aire cada 1 min en C52 entre el 1/9 y 5/9/93 y en CLF entre el 12/10 y 17/10/93.

| | T | T _{min} | T _{Max} | σ | Asimetría | Curtosis | N |
|------|-------|------------------|------------------|----------|-----------|----------|------|
| | (°C) | (°C) | (°C) | (°C) | | | |
| TCLF | 17.08 | 0.70 | 33.90 | 7.88 | 0.22 | -0.62 | 5557 |
| TC52 | 15.61 | 11.40 | 19.90 | 1.93 | -0.04 | -0.80 | 6354 |

Tabla 4.xii: Parámetros estadísticos descriptivos de la intensidad del viento cada 1 min en C52 entre el 1/9 y 5/9/93 y en CLF entre el 12/10 y 17/10/93.

| | V | V _{min} | V _{Max} | σ | Asimetría | Curtosis | N |
|------|-------|------------------|------------------|----------|-----------|----------|------|
| | (m/s) | (m/s) | (m/s) | (m/s) | | | |
| VCLF | 0.95 | 0 | 7.20 | 1.33 | 1.44 | 1.47 | 5558 |
| VC52 | 0.45 | 0 | 4.00 | 0.75 | 2.00 | 3.96 | 6346 |

Las Tablas 4.ix a 4.x presentan los parámetros estadísticos descriptivos de la temperatura del aire y de la intensidad del viento para las estaciones C52, CVS, CBI y CBS para el período

comprendido entre el 1 y el 13/10/94.

Las Tablas 4.xi y 4.xii presentan los parámetros estadísticos descriptivos de la temperatura del aire y la intensidad del viento en CLF en el período 12/10/93 a 17/10/93 y C52 en el período 1/9 a 5/9/93.

Como se explicó anteriormente, los datos faltantes en las series de temperatura del aire y la intensidad y dirección del viento de los períodos 1 al 13/10/94 y 1/9 al 5/9/93 no alcanzan al 0.1 % del total, por lo que la inclusión de los datos interpolados no ocasiona variaciones en los valores de los estadísticos descriptivos.

4.3.2 Consistencia de la información

Para la detección de datos dudosos, se aplicó una combinación de un método estadístico con una verificación gráfica de la serie. El método estadístico se basa en la comparación de la serie con una serie suavizada.

Tabla 4.xiii: Valores de a y b de la ecuación $y=ax[^\circ\text{C}]+b[^\circ\text{C}]$ y del coeficiente de determinación lineal (r^2) para cada combinación de estaciones, utilizados en la estimación de datos faltantes, de los valores horarios de temperatura del aire de septiembre y octubre de 1988 para las estaciones Neuquén, Cinco Saltos, Alto Valle y Villa Regina.

| Año 1988 | Neuquén | | | Cinco Saltos | | | Alto Valle | | | Villa Regina | | |
|--------------|---------|-------|-------|--------------|------|-------|------------|------|-------|--------------|-------|-------|
| | a | b | r^2 | a | b | r^2 | a | b | r^2 | a | b | r^2 |
| Neuquén | | | | 0.98 | 1.06 | 0.92 | 0.98 | 1.06 | 0.92 | 1.02 | -0.21 | 0.87 |
| Cinco Saltos | 1.02 | -1.08 | 0.93 | | | | 0.99 | -25 | .904 | 1.09 | -1.94 | 0.85 |
| Alto Valle | 1.02 | -1.08 | 0.93 | 1.01 | 0.26 | 0.90 | | | | 1.02 | -0.62 | 0.91 |
| Villa Regina | 0.98 | 0.21 | 0.87 | 0.91 | 1.78 | 0.85 | 0.98 | 0.61 | 0.90 | | | |

Tabla 4.xiv: Ídem Tabla 4.xiii para los datos de temperatura del aire de septiembre y octubre de 1989.

| Año 1989 | Neuquén | | | Cinco Saltos | | | Alto Valle | | | Villa Regina | | |
|--------------|---------|-------|-------|--------------|-------|-------|------------|------|-------|--------------|-------|-------|
| | a | b | r^2 | a | b | r^2 | a | b | r^2 | a | b | r^2 |
| Neuquén | | | | 0.97 | 1.24 | 0.93 | 0.89 | 1.99 | 0.92 | 0.98 | 0.52 | 0.89 |
| Cinco Saltos | 1.03 | -1.27 | 0.93 | | | | 0.94 | 0.40 | 0.93 | 1.06 | -1.40 | 0.88 |
| Alto Valle | 1.12 | -2.24 | 0.92 | 1.06 | -0.43 | 0.93 | | | | 1.04 | -0.73 | 0.91 |
| Villa Regina | 1.01 | -332 | 0.88 | 0.94 | 1.32 | 0.88 | 0.96 | 0.70 | 0.91 | | | |

Los datos horarios convencionales fueron ingresados a planilla electrónica y revisados en primer lugar utilizando el análisis gráfico y en segundo lugar la metodología conocida como 23-H desarrollada por Tukey (ver Necco, 1984).

El esquema estadístico para la identificación de datos dudosos, se basa en la robustez de

la mediana como estimador de la media de una distribución simétrica y consiste en la estimación de una serie suavizada aplicando dos veces el cálculo de medianas a la serie original.

Mediante un primer análisis, se procedió a detectar los datos dudosos y a corregir los mismos, según el siguiente esquema:

Sea x_i con $i=1,2,\dots,N$ (donde N = cantidad de datos: $N=1464$) cada una de las series ordenadas en forma cronológica de cada una de las variables a ser estudiada (temperatura del aire e intensidad y dirección del viento):

a) A partir de cada serie (x_i) se estimó una primera serie suavizada x'_i , como la serie de las medianas de grupos de cinco valores adyacentes de la serie x_i (la mediana de los valores x_{i-2},\dots,x_{i+2} , es un nuevo valor x'_i , la mediana de los valores x_{i-4},\dots,x_{i+4} , es un nuevo valor x'_i , y así sucesivamente).

b) Luego, se volvió a suavizar formando la serie de las medianas de grupos de tres valores consecutivos (x''_i) de la serie (x'_i) obtenida en el punto a. (la mediana de los valores x'_{i-1},\dots,x'_{i+1} es un nuevo valor x''_i , la mediana de los valores x'_{i-3},\dots,x'_{i+3} , es un nuevo valor x''_i , y así sucesivamente).

c) Finalmente, a la serie x''_i se le aplicó un filtro de Hann, obteniendo una nueva serie (x'''_i) de la siguiente manera:

$$x'''_i = 0.25x''_{i-1} + 0.5x''_i + 0.25x''_{i+1} \quad (4.1)$$

d) Se comparó el módulo de las diferencias entre la serie original y la suavizada ($|x_i - x'''_i|$),

con el valor de la varianza (σ^2) multiplicado por un peso (k) establecido por análisis exploratorio de las series consideradas y elegidos según la variable revisada. Los valores de k se presentan en la Tabla 4.xv (Necco, 1984).

Tabla 4.xv: Valores de la constante de peso (k) para la temperatura del aire y la intensidad del viento.

| <i>Variable</i> | <i>k</i> |
|-----------------|----------|
| Temperatura | 1.0 |
| Int. Viento | 1.5 |

e) Se identificaron como datos dudosos, los valores que verificaron la condición de que el módulo de la diferencia fuera mayor que k veces la desviación estándar. A partir de este resultado se procedió a revisar los valores señalados. Se identificaron además como datos dudosos los datos faltantes.

f) Los datos dudosos fueron revisados cotejándolos con los datos originales. En los casos que persistió su clasificación, se procedió a reemplazarlos mediante el procedimiento anteriormente mencionado.

4.3.3 Estacionariedad de las series horarias

En general, las propiedades de los procesos estocásticos dependen del tiempo. Una necesidad para la aplicación de técnicas de análisis es que el proceso llega a alcanzar un determinado estado de equilibrio o estado estacionario y por lo tanto, las propiedades estadísticas no dependen del tiempo transcurrido desde la iniciación del proceso.

Un requerimiento mínimo para que un proceso sea estacionario, es que la función densidad de probabilidad sea independiente del tiempo. Por lo tanto, una serie estacionaria tiene valor medio (μ) y varianza (σ^2) constantes.

La función densidad de probabilidad puede ser estimada a partir de un histograma de frecuencias. Si la serie temporal es suficientemente larga, la hipótesis de estabilidad puede ser confirmada mediante la construcción de histogramas para segmentos de la serie temporal completa. Si los histogramas son comparables, se justifica la suposición de una densidad de probabilidad constante.

Otra consecuencia de asumir que un proceso se encuentra en estado de equilibrio es que la función densidad de probabilidad conjunta $f_{12}(x_1, x_2)$ depende solamente de la diferencia de tiempo ($t_2 - t_1$). Un proceso estocástico que cumple con esa propiedad para todos los desplazamientos de tiempo se denomina completamente estacionario.

Un proceso se dice débilmente estacionario de orden k , si sus momentos hasta el orden k dependen solamente de las diferencias de tiempo.

Una distribución normal multivariada está completamente caracterizada por su primer y segundo momento y por lo tanto el requisito de estacionariedad de segundo orden implica que el proceso normal sea completamente estacionario.

Como se explicó anteriormente, las series de temperatura del aire e intensidad del viento de los años 1993 y 1994 presentaban una cantidad muy pequeña de datos faltantes en los periodos seleccionados. Para el relleno de la información, se efectuó una interpolación lineal a partir de los datos presentes en la muestra.

Se dividieron las series horarias mencionadas en subseries con 488 datos cada una. Las subseries fueron elegidas para efectuar los cálculos del espectro para la operación de suavizado.

Se calcularon los valores de los promedios y las desviaciones estándares de dichas series y se comprobó estacionariedad de segundo orden, comparando los momentos de manera que no difieran entre sí.

Tabla 4.xvi: Valores estadísticos obtenidos de las comparaciones entre subseries con mayor diferencia entre medias y varianzas. i corresponde a la subserie con menor valor y j a la subserie de mayor valor medio o varianza respectivamente, DS^2_{max} es el cociente entre varianzas muestrales, $\Delta\bar{X}_{max}$ es la diferencia máxima entre medias y g.l es la cantidad de grados de libertad considerados para el test. Los valores corresponden a las series horarias de temperatura del aire e intensidad del viento (Neuquén-V) de las estaciones mencionadas para septiembre y octubre de 1988.

| Estación | i/j | g.l | DS^2_{max} | Intervalo de Confianza (95%) | j-i | g.l | $\Delta\bar{X}_{max}$ | Intervalo de Confianza (95%) |
|--------------|-----|-----|--------------|------------------------------|-----|-----|-----------------------|------------------------------|
| Neuquén-T | 4/6 | 487 | 0.4347 | [0.3639,0.5194] | 5-3 | 974 | 0.4049 | [-7.26e-3,0.8824] |
| Neuquén-V | 2/5 | 487 | 0.5121 | [0.4286,0.6117] | 6-4 | 974 | 1.2185 | [1.0311,1.4716] |
| Cinco Saltos | 2/6 | 487 | 0.3759 | [0.3147,0.4491] | 4-6 | 974 | 0.3577 | [-0.1805,0.8960] |
| Alto Valle | 2/6 | 487 | 0.4562 | [0.3819,0.5450] | 4-6 | 974 | 0.4487 | [-0.0809,0.9771] |
| Villa Regina | 2/6 | 487 | 0.4513 | [0.3778,0.5392] | 4-6 | 974 | 0.3730 | [-0.1590,0.9051] |

Tabla 4.xvii: Ídem Tabla 4.xvi para los valores horarios de temperatura del aire e intensidad del viento para las distintas estaciones para septiembre y octubre de 1989.

| Estación | i/j | g.l | DS^2_{max} | Intervalo de Confianza (95%) | j-i | g.l | $\Delta\bar{X}_{max}$ | Intervalo de Confianza (95%) |
|--------------|-----|-----|--------------|------------------------------|-----|-----|-----------------------|------------------------------|
| Neuquén-T | 3/5 | 487 | 0.5146 | [0.4307,0.6147] | 4-6 | 974 | 2.519 | [2.0178,3.0212] |
| Neuquén-V | 1/3 | 487 | 0.7723 | [0.6465,0.9226] | 6-2 | 974 | 1.709 | [1.2022,2.2169] |
| Cinco Saltos | 3/1 | 487 | 0.5254 | [0.4398,0.6277] | 4-6 | 974 | 2.019 | [1.4827,2.5558] |
| Alto Valle | 3/5 | 487 | 0.5967 | [0.4995,0.7128] | 4-6 | 974 | 2.242 | [1.6621,2.8228] |
| Villa Regina | 4/5 | 487 | 0.7668 | [0.6419,0.9161] | 4-6 | 974 | 1.7241 | [1.1855,2.2626] |

Se efectuaron los cálculos de los intervalos de confianza al 95 % para cada sub-serie y se comprobó que las varianzas y los valores medios no difieran entre sí utilizando el test t-Student para la media y el test F de Fisher para las varianzas. Se compararon las medias y varianzas con mayor diferencia de valor absoluto (Tablas 4.xvi y 4.xvii).

4.3.3.1 Temperatura del aire en la Estación Neuquén Aero:

Las Tablas 4.xviii y 4.xix, presentan los valores de los parámetros estadísticos para cada una de las subseries de las series de temperatura del aire de la estación Neuquén Aero. A partir de dichos valores, se procedió a comprobar si la mayor diferencia entre promedios era significativa y si la diferencia entre los valores menor y mayor de la varianza, era significativa al 95%. En todos los casos el test dio como resultado que se puede considerar que las series son estacionarias de segundo orden.

Tabla 4.xviii: Parámetros descriptivos para cada subserie i, de los valores de temperatura del aire de la estación Neuquén Aero para septiembre y octubre de 1988.

| i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|
| N | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 |
| T (°C) | 0.0101 | -0.0425 | 0.0417 | 0.3530 | -0.0519 | -0.3106 |
| σ^2 (°C) ² | 13.93 | 7.62 | 9.89 | 13.63 | 15.18 | 17.53 |

Tabla 4.xix: Ídem Tabla 4.xviii para temperatura del aire en la estación Neuquén Aero, septiembre y octubre de 1989.

| i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|
| N | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 |
| T (°C) | -0.0960 | 0.4114 | 0.0780 | 1.0540 | 0.0180 | -1.46 |
| σ^2 (°C) ² | 14.24 | 17.43 | 11.38 | 14.79 | 22.11 | 17.09 |

4.3.3.2 Intensidad de viento en la estación Neuquén Aero:

Las Tablas 4.xx y 4.xxi, presentan los valores de los parámetros estadísticos para cada una de las subseries de las series de intensidad del viento de la estación Neuquén Aero. A partir de dichos valores, se procedió a comprobar si la mayor diferencia entre promedios era significativa y si la diferencia entre los valores menor y mayor de la varianza era significativa al 95%. En todos los casos el test dio como resultado que se puede considerar que las series son estacionarias de segundo orden.

Tabla 4.xx: Parámetros descriptivos para cada subserie i, de los valores de intensidad de viento de la estación Neuquén para septiembre y octubre de 1988.

| i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|---------|--------|--------|-------|-------|
| N | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 |
| \bar{v} (m/s) | 0.277 | 5.63e-3 | -0.573 | -0.607 | 0.307 | 0.611 |
| σ^2 (m/s) ² | 26.08 | 23.44 | 26.72 | 33.52 | 45.77 | 41.33 |

Tabla 4.xxi: Ídem Tabla 4.xx para septiembre y octubre de 1989.

| i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| N | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 |
| \bar{v} (m/s) | -0.1242 | -0.8275 | -0.2473 | -0.5141 | -0.088 | 0.8821 |
| σ^2 (m/s) ² | 14.51 | 15.11 | 18.78 | 17.24 | 18.20 | 17.49 |

4.3.3.3 Temperatura del aire en la estación Cinco Saltos:

Los parámetros estadísticos para cada subserie de las series de temperatura del aire en la estación Cinco Saltos para los años 1988 y 1989 se indican en las Tablas 4.xxii y 4.xxiii.

Tabla 4.xxii: Parámetros descriptivos para cada subserie i, de los valores de temperatura del aire en la estación Cinco Saltos, septiembre y octubre de 1988.

| i | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 6 |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| N | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 |
| T(°C) | 0.0447 | 0.0894 | 0.0838 | 0.1342 | -0.1294 | -0.2236 |
| σ^2 (°C) ² | 17.62 | 8.14 | 11.97 | 14.01 | 14.31 | 21.69 |

Los resultados del test presentados en las Tablas 4.xvi y 4.xvii muestran que la serie de temperatura del aire de la estación Cinco Saltos puede considerarse estacionaria de 2do orden.

Tabla 4.xxiii: ídem 4.xxii para cada subserie i, de la estación Cinco Saltos, año 1989.

| i | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 6 |
|------------------------------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|
| N | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 |
| T(°C) | -0.1113 | 0.2411 | 0.1941 | 0.8840 | -0.1294 | -1.1342 |
| σ^2 (°C) ² | 23.83 | 20.71 | 12.42 | 18.43 | 14.31 | 17.93 |

4.3.3.4 Temperatura del aire en la estación Alto Valle:

Las Tablas 4.xxiv y 4.xxv muestran los valores de los promedios y varianzas de las subseries obtenidos a partir de los valores horarios de temperatura del aire de la estación Alto Valle. Los resultados de los test presentados en las Tablas 4.xvi y 4.xvii señalan que la serie puede ser considerada estacionaria de 2do orden.

Tabla 4.xxiv: Parámetros descriptivos para cada subserie i, de los valores de temperatura del aire de la estación Alto Valle, septiembre y octubre de 1988.

| i | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 6 |
|------------------------------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|
| N | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 |
| T(°C) | 0.0663 | -0.1304 | -0.0846 | 0.2892 | 0.0183 | -0.1480 |
| σ^2 (°C) ² | 18.01 | 8.92 | 11.48 | 14.88 | 14.98 | 19.44 |

Tabla 4.xxv: Ídem Tabla 4.xxiv para la estación Alto Valle, septiembre y octubre de 1989.

| i | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 6 |
|------------------------------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|
| N | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 |
| T (°C) | -0.1318 | 0.1479 | 0.1333 | 1.0473 | -0.0044 | -1.1941 |
| σ^2 (°C) ² | 27.43 | 26.86 | 16.67 | 19.94 | 27.93 | 22.71 |

4.3.3.5 Temperatura del aire en la estación Villa Regina:

Las tablas 4.xxvi y 4.xxvii muestran los parámetros estadísticos de las subseries obtenidas a partir de los valores horarios de temperatura del aire en Villa Regina.

Tabla 4.xxvi: Parámetros descriptivos para cada subserie i, de los valores de temperatura del aire en la estación Villa Regina, septiembre y octubre de 1988.

| i | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 6 |
|------------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|
| N | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 |
| T(°C) | 0.1314 | 0.0144 | -0.1407 | 0.1792 | 0.0193 | -0.1937 |
| σ^2 (°C) ² | 16.07 | 8.19 | 13.46 | 17.71 | 14.84 | 18.14 |

Los resultados de los tests de las varianzas se muestran en las Tablas 4.xvi y 4.xvii, indicando que las series pueden ser consideradas estacionarias de 2do orden al 95 %.

Tabla 4.xxvii: ídem Tabla 4.xxvi para la estación Villa Regina, septiembre y octubre de 1989.

| i | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 6 |
|------------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|
| N | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 |
| T(°C) | 0.1010 | 0.0807 | -0.1093 | 0.8217 | 0.0083 | -0.9023 |
| σ^2 (°C) ² | 20.94 | 22.16 | 17.24 | 17.02 | 22.19 | 19.72 |

4.3.4. Estacionariedad de la información con 1 minuto y 15 minutos de intervalo de observación

Las series obtenidas con un intervalo entre observaciones de 1 minuto comprenden períodos de 4 días y las series obtenidas con un intervalo entre observaciones de 15 minutos comprenden información de 12 días. Los períodos de tiempo involucrados son cortos, por esta razón las principales causas de inhomogeneidades se deben a la tendencia debida a variaciones en la situación a escala sinóptica y a la onda diaria.

La tendencia lineal y la onda diaria fueron filtradas de la manera explicada en los puntos 8.1.1 y 8.2. La ventana utilizada fue la de Parzen (8.3.2) y se eliminó la contribución del valor medio. Las series obtenidas pueden ser consideradas estacionarias de segundo orden.

5. CLIMATOLOGÍA GENERAL

5.1 CLIMATOLOGÍA DE LA ZONA NORPATAGÓNICA

La zona en estudio, se encuentra ubicada en el sector Norte de la Patagonia. La Patagonia es la región comprendida entre el río Colorado al Norte, la Cordillera de los Andes al W, el Océano Atlántico al E y el extremo sur del continente.

El clima de esta zona corresponde al tipo BWk de la clasificación climática de Köeppen: desértico frío con verano cálido (Köeppen, 1931).

Prohaska (1976) describió las características generales del clima de la Argentina. En particular, el clima de la Patagonia está caracterizado principalmente por un único elemento meteorológico, el viento, (constancia e intensidad). La región está situada en la región sur del cinturón Subtropical de Altas Presiones, cuya influencia directa se extiende hasta aproximadamente 40°S y las bajas presiones subpolares en el Círculo Antártico. Como estos sistemas de presión presentan sólo pequeñas variaciones estacionales y espaciales y muestran poca variación en su intensidad, los vientos del W prevalecen durante todo el año en la Patagonia. Esta característica proporciona el mejor criterio para la delimitación de la Patagonia como una región climática uniforme. La distribución anual de las direcciones de viento de estaciones individuales muestran que las frecuencias de vientos del W están entre el 50 - 70% (incluyendo calmas). En el sector occidental de la Patagonia, se observa una variación anual de la dirección del viento, debido a los pequeños desplazamientos estacionales de los sistemas de presión predominantes. En invierno, las isobaras se presentan paralelas a los círculos de latitud, ya que las altas presiones sobre el continente conectan los centros de alta presión del Atlántico y del Pacífico aproximadamente a la misma latitud y con intensidades similares. En verano, el centro del anticiclón del Pacífico está más al Sur que en invierno y cercano a la costa sudamericana, mientras que el centro de la celda del Atlántico está más alejado de la costa, por lo que el gradiente de presión y el viento son más pronunciados en el sector W de la Patagonia. En el invierno se verifica una circulación uniforme del W, mientras que en el verano aparece una débil componente zonal, superpuesta al gradiente meridional de presión, provocando vientos del sector WSW - SW. Si se considera el gradiente medio anual entre los 40° y 60°S a 75°W, el viento medio geostrófico calculado es 7 m/s (Prohaska, 1976).

Al describir las características de la nubosidad, Prohaska (1976), divide la región Patagónica en dos sectores: la zona ubicada más al norte, con un régimen subtropical en verano (mínima nubosidad) y sistemas nubosos asociados a vientos del W en invierno (máxima nubosidad), y la ubicada al sur de los 45° en la cual prevalecen durante todo el año los sistemas nubosos asociados a los vientos del W con valores más altos en el verano y con un incremento de Norte a Sur. La disminución de la nubosidad en verano en la Patagonia Norte, puede relacionarse con el movimiento hacia el sur del Anticiclón subtropical. En el límite norte de la Patagonia, el número medio anual de días con cielo cubierto y cielo despejado es entre 60 y 80 días.

Las isotermas de la temperatura media en la zona oeste de la Patagonia, donde la elevación del terreno cambia abruptamente hacia las inmediaciones de la Cordillera de los Andes, siguen la dirección Norte-Sur. Por ejemplo, la isoterma de 10°C se encuentra ubicada entre el río Limay

a 40° S hacia el S-SE y Río Deseado (47°S). En la estación Cipolletti, las temperaturas en primavera son sólo un poco mayores que en otoño. En primavera, la incidencia de la radiación solar es mayor que en otoño y las primeras irrupciones de masas de aire frío polar ocurren en mayo, marcando el comienzo del invierno. La variación diaria de la temperatura a nivel del suelo alcanza localmente valores entre 17 °C y 19°C a fines de verano en Neuquén, coincidiendo con la ocurrencia de radiación solar intensa entre 35°S y 40°S. La temperatura máxima media mensual de los meses más cálidos, en las zonas ubicadas al norte del río Negro supera los 30°C. La temperatura mínima anual de Patagonia y Tierra del Fuego (excepto en la costa) está entre -10°C y -15°C. La diferencia entre las temperaturas máximas del mes más cálido y mínima del mes más frío es mayor que 30°C en la Patagonia Norte (Prohaska, 1976).

5.2 CLIMATOLOGÍA SUPERFICIAL

Con la información de las temperaturas media, máxima y mínima y los datos de intensidad y dirección del viento recopilados de las estadísticas climatológicas elaboradas por el Servicio Meteorológico Nacional para el período comprendido entre 1961 y 1990 (SMN, 1970, 1980, 1992) se elaboró una descripción climática local de la zona descrita en el capítulo 3.

Para el período considerado, se cuenta con información de cuatro estaciones meteorológicas

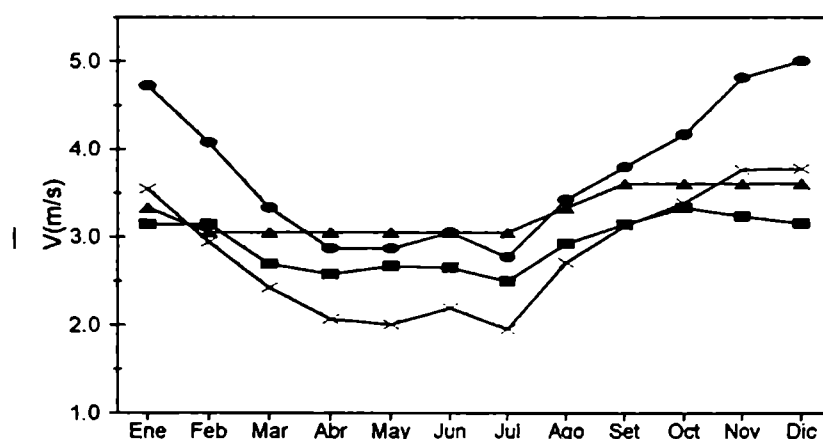


Fig. 5.1: Intensidad media mensual de viento (m/s) (período 1961-1990) en las estaciones Neuquén (—■—), Cipolletti (—x—), Alto Valle (—●—) y Villa Regina (—▲—) (Período 1961-1970).

ubicadas en la región del Alto Valle del Río Negro: Neuquén Aero, Alto Valle, y Cipolletti I y II, mientras que la información disponible en Villa Regina, abarca sólo el período 1961-1970.

En la estación Neuquén, la intensidad media mensual del viento presenta su valor mínimo

en julio y aumenta hasta alcanzar su valor máximo en octubre, se mantiene durante el verano y disminuye a partir del mes de marzo (ver Figura 5.1).

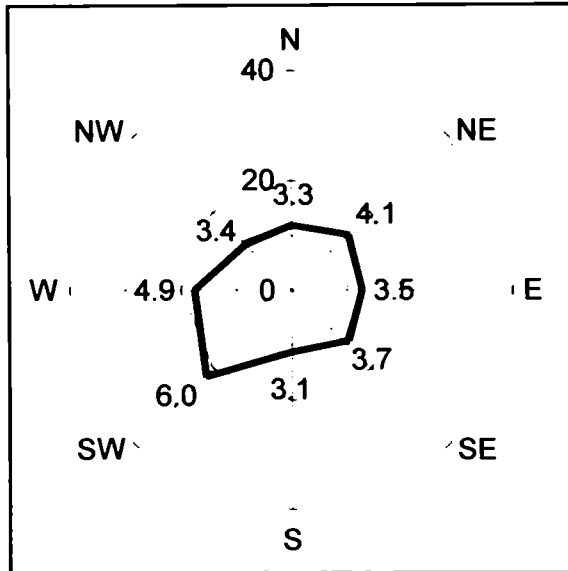


Fig. 5.2: Frecuencias relativas porcentuales (%) de dirección (líneas) y velocidad media del viento (m/s) (rótulos) en Neuquén (período 1961-1990) calmas 18%.

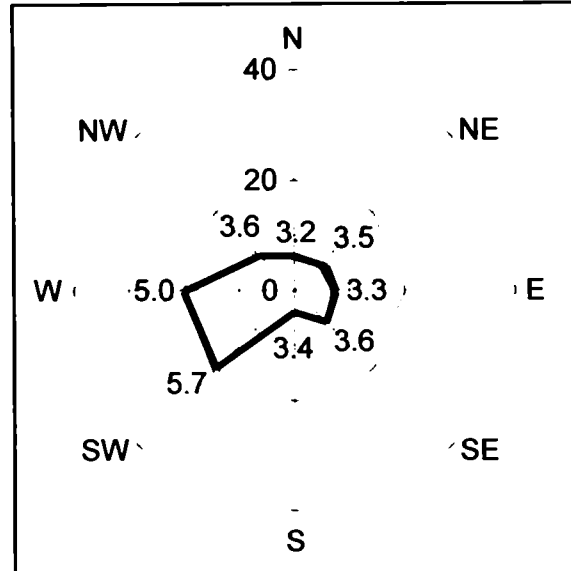


Fig. 5.3: ídem Figura 5.2 para la estación Cipolletti en el período 1961-1990 (calmas 19.5%).

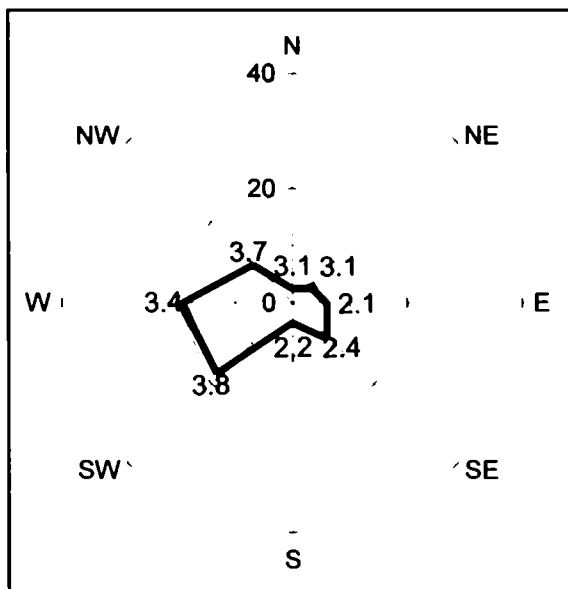


Fig. 5.4: ídem Figura 5.2 para la estación Alto Valle en el período 1961-1990 (calmas 30%)

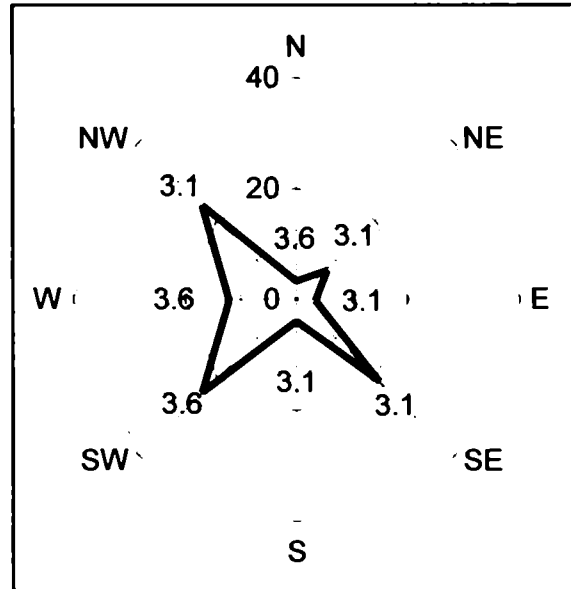


Fig. 5.5: ídem Figura 5.2 para la estación Villa Regina en el período 1961-1970 (sin información acerca de calmas).

En Villa Regina, las intensidades medias mensuales son más constantes, no presentandose un mínimo marcado. Los valores de intensidad media mensual aumentan entre julio y

septiembre, manteniéndose los vientos más intensos hasta el mes de enero (3.2 m/s). En Neuquén Aero y en Villa Regina, el rango de variación de la intensidad media mensual es menor que en Cipolletti y Alto Valle. Esto podría asociarse al hecho de que, tanto en Cipolletti como en Alto Valle se produce una mayor canalización del flujo, por lo que se encuentran protegidas con respecto al viento proveniente de las direcciones (Norte y Sur) perpendiculares al valle que varían estacionalmente.

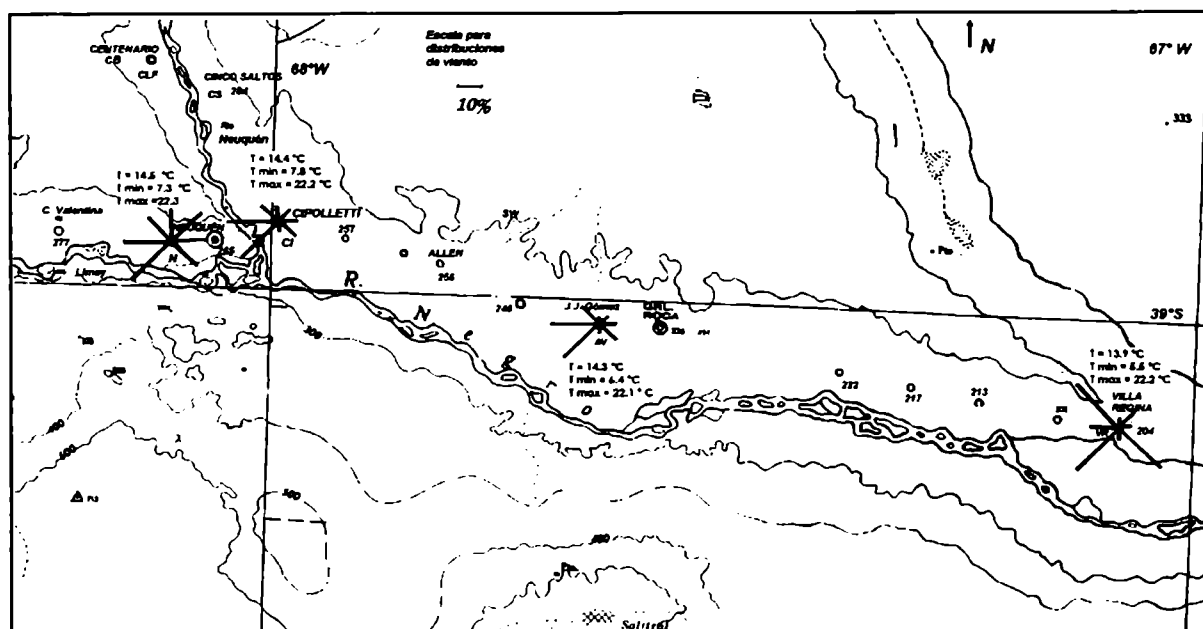


Fig. 5.6 Ubicación geográfica de las estaciones, rosa de los vientos y temperatura media ($T(^{\circ}\text{C})$), mínima media ($T_{\min}(^{\circ}\text{C})$) y máxima media ($T_{\max}(^{\circ}\text{C})$) anuales en cada punto.

La distribución de frecuencias de ocurrencia de direcciones de viento, sigue la forma predominante en latitudes medias (Prohaska, 1976), con prevalencia en general de vientos de los sectores W y SW (Figuras 5.2 a 5.5). En Neuquén, Cipolletti y Alto Valle se observa un máximo relativo muy importante en las direcciones correspondientes a los sectores W y SW (39.4 % en Neuquén, 41.0 % para Cipolletti, 36.9 % en Alto Valle, en total para ambas direcciones). En Cipolletti y en Alto Valle se presentan mínimos marcados en las direcciones Norte y Sur (3.8 y 5.8% Cipolletti, y 1,9% y 2,9% en Alto Valle, respectivamente (ver Figura 5.6). Este efecto puede relacionarse con la topografía en ambas localidades, ya que al estar ubicadas en el interior del valle, los vientos en escala regional provenientes de dichos sectores pueden detectarse a alturas del orden de las paredes de la barda (>40 m). En Villa Regina, en cambio, se presenta una rosa de vientos con forma de estrella con máximos en las direcciones NW (23.7%), SW (24.0%) y SE (22.2%). Las calmas representan el 18.0 % en Neuquén, 19.5% en Cipolletti y 30.0 % en Alto Valle, (en Villa Regina no se cuenta con información relativa a calmas). La velocidad media del viento para el período de 30 años es 3.8 m/s y 2.9 m/s para Neuquén y Alto Valle y 2.8 m/s y 3.3 m/s para Cipolletti y Villa Regina, respectivamente.

De las Figuras 5.2 a 5.6 se puede concluir que:

- La distribución de frecuencias de direcciones de viento en Neuquén y Alto Valle, muestra

direcciones predominantes del sector Sudoeste-Oeste. En general, se observa que el flujo medio del aire sigue los accidentes topográficos que presentan los valles de los ríos Limay y Negro (Fig. 5.6).

- En Alto Valle las frecuencias del viento proveniente de los sectores Norte y Sur muestran valores mucho menores debido a la presencia de los bordes de la meseta que actúan en forma de paredes, que influyen sobre la conducción del flujo del aire dentro del valle.

- En Cipolletti, ubicada cerca de la confluencia de los dos valles, el viento presenta una dirección preferencial de los sectores Oeste y Sudoeste, siguiendo el valle del río Limay, lo que verificaría la acción de los bordes del valle del río Neuquén, disminuyendo la componente de viento perpendicular al mismo.

La Figura 5.7 muestra las temperaturas mínimas medias mensuales de las estaciones NA, AV, CI y VR durante el período 1961-1970 y de NA, AV, CI durante el período 1961-1990. Se puede observar, en ambos casos que durante todos los meses, la temperatura mínima media fue mayor en CI, disminuyendo en NA AV y VR. Considerando el período 1961-1970, la marcha anual de la la temperatura mínima media fue similar, presentándose valores menores en VR y AV. Los valores de la temperatura mínima media del período 1961-1970 en NA, AV y VR son en promedio menores que en CI, (0.8 °C en NA, 1.9 °C en AV y 2.1 °C en VR). Las mayores diferencias entre CI y NA se observan en invierno y entre AV y VR con NA se presentaron en verano.

La Figura 5.8 presenta las temperaturas medias mensuales en Neuquén Aero, Cipolletti, Alto Valle y Villa Regina en el período 1961- 1970 y en NA, CI y AV entre 1961 y 1990. La marcha anual de la temperatura media mensual es similar en todas las estaciones. Las mayores temperaturas medias mensuales se observan en Neuquén Aero en los meses de noviembre a febrero. Las temperaturas medias menores en el período 1961-1970 se presentan en Villa Regina durante todo el año, excepto en los meses de julio y agosto (ver SMN, 1970, 1980, 1992).

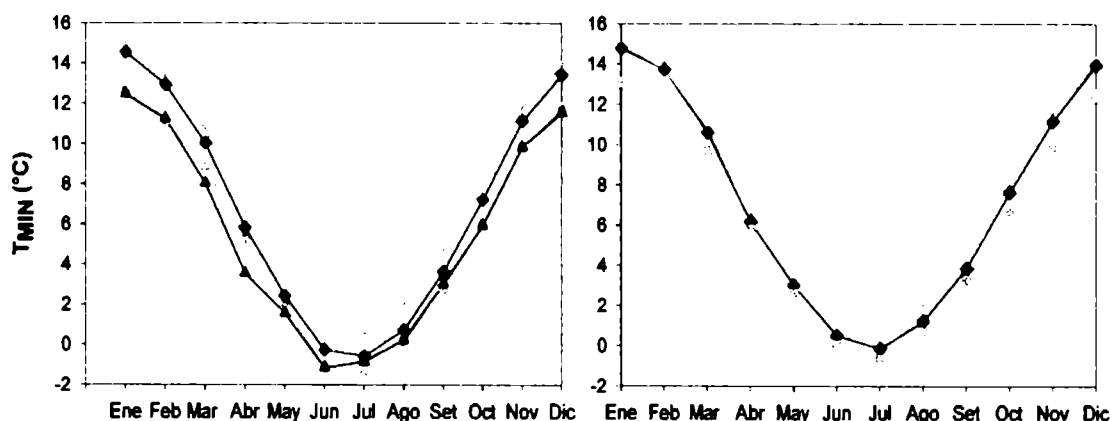


Fig. 5.7: Temperaturas mínimas medias mensuales en Neuquén (—◆—), Alto Valle (•) y Cipolletti () y Villa Regina (—▲—) en el período 1961-1970 (izquierda) y Temperaturas máximas medias mensuales en Neuquén (◆), Alto Valle (•) y Cipolletti () en el período 1961-1990 (derecha).

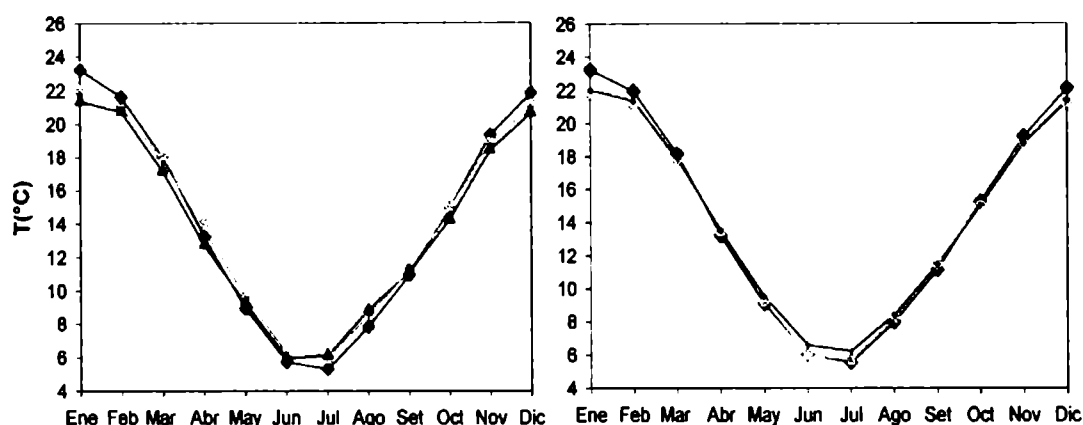


Fig. 5.8: Temperaturas medias mensuales en Neuquén (···◆···), Alto Valle (●) y Cipolletti (—▲—) en el período 1961-1970 (izquierda) y Temperaturas medias mensuales en Neuquén (···◆···), Alto Valle (●) y Cipolletti (—▲—) en el período 1961-1990 (derecha).

La variación de la temperatura máxima media mensual (ver Figura 5.9) sigue el mismo comportamiento que el descrito para la temperatura media.

En general, puede observarse que la temperatura media y la temperatura mínima media descienden hacia el Este, mientras que la temperatura máxima no muestra variaciones notables.

Sorbjan (1989) describe la influencia del terreno sobre el flujo cuando existe una pequeña pendiente en un territorio que se extiende en el orden de los cien kilómetros. Dicha pendiente genera fuerzas de empuje que son responsables de la deformación de las hodógrafas de viento en la capa límite. Las fuerzas de empuje resultan del enfriamiento o calentamiento de la superficie inclinada en un pequeño ángulo con respecto a la horizontal.

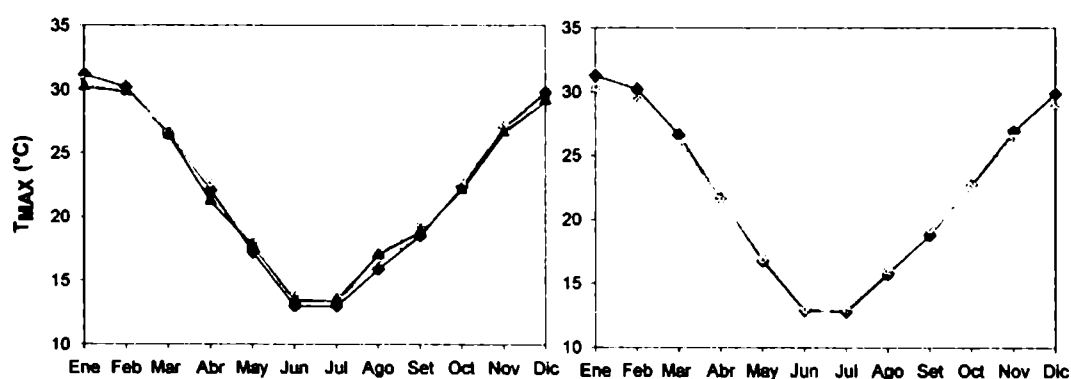


Fig. 5.9: Temperaturas máximas medias mensuales en Neuquén (···◆···), Alto Valle (●) y Cipolletti (—▲—) en el período 1961-1970 (izquierda) y Temperaturas máximas medias mensuales en Neuquén (···◆···), Alto Valle (●) y Cipolletti (—▲—) en el período 1961-1990 (derecha).

Otro efecto que podría influir en la disminución hacia el este de la temperatura mínima podría ser el hecho de que las masas de aire que pasan sobre la cordillera, al descender del lado argentino se calientan, este efecto disminuye a medida que nos alejamos hacia el este.

5.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS CAMPOS HORIZONTALES DE TEMPERATURA DEL AIRE Y DE ALTURA GEOPOTENCIAL SOBRE LA REGIÓN EN CONDICIONES DE HELADAS

Escobar y otros (1996) analizaron las anomalías de la temperatura del aire y de la altura geopotencial durante los tres días siguientes a la ocurrencia de una helada y observaron que la ocurrencia de temperaturas mínimas extremas en la región de Neuquén muestra variabilidad en la estructura vertical y temporal de las anomalías de temperatura y altura geopotencial asociadas a los sistemas sinópticos migratorios que las afectan. Previo al pasaje de sistemas frontales detectaron un calentamiento en toda la troposfera, acompañado por una disminución continua de la presión, en la circulación normal del flujo del oeste, generando temperaturas mínimas extremas que persistieron en la zona durante varios días. Esto daría un indicio de que fenómenos de escala temporal mayor pueden influir en la ocurrencia de heladas advectivas, pero que debido a la persistencia del aire frío sobre la región y bajo condiciones propicias (cielo despejado y viento en calma) pueden vincularse con sucesivas heladas radiativas.

5.4 ASPECTOS DE UNA CLIMATOLOGÍA SINÓPTICA

Los campos medios de altura geopotencial y de temperatura durante el período 1979 -1995

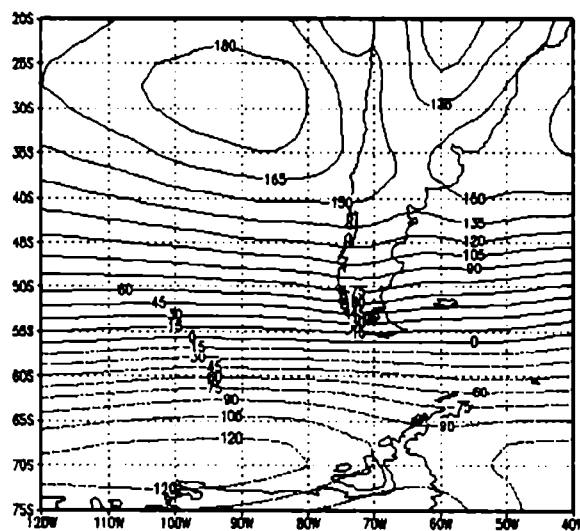


Fig. 5.10: Altura geopotencial (mgs) de 1000 hPa en septiembre para el período 1979-1995 (NCEP), mapa elaborado por NOAA-CIRES, Climate Diagnostics Center.

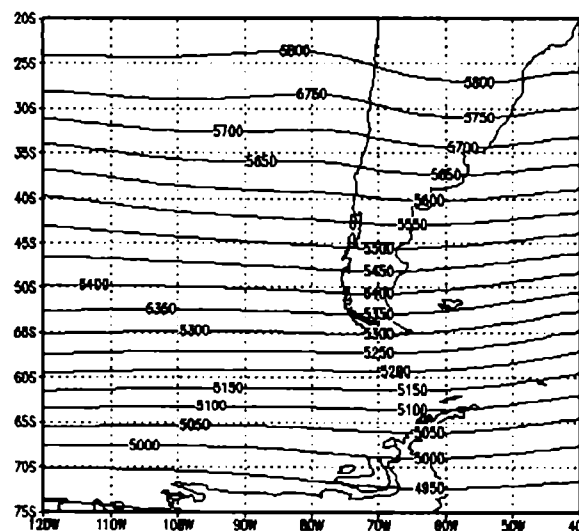


Fig. 5.11: Altura geopotencial (mgs) de 500 hPa en septiembre para el período 1979-1995 (NCEP), mapa elaborado por NOAA-CIRES, Climate Diagnostics Center.

muestran para el mes de septiembre una divergencia del flujo en la troposfera inferior con vientos leves del SW, con una leve influencia del Anticiclón semi-permanente del Pacífico, que presenta un máximo relativo de temperatura (alrededor de 15.0 °C) en septiembre y 17.5°C en octubre sobre la región (ver Figura 5.14 y 5.16).

En la troposfera media en el período 1979-1995 el flujo es zonal, con isotermas paralelas a la distribución de altura geopotencial en el mismo nivel (500 hPa).

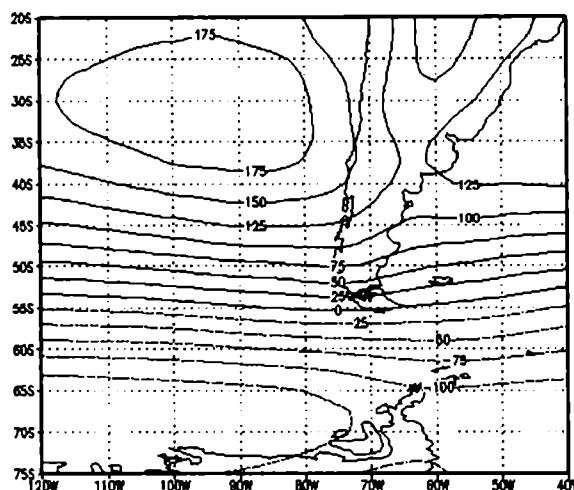


Fig. 5.12: ídem Figura 5.10 para el mes de octubre en el período 1979-1995 (NCEP).

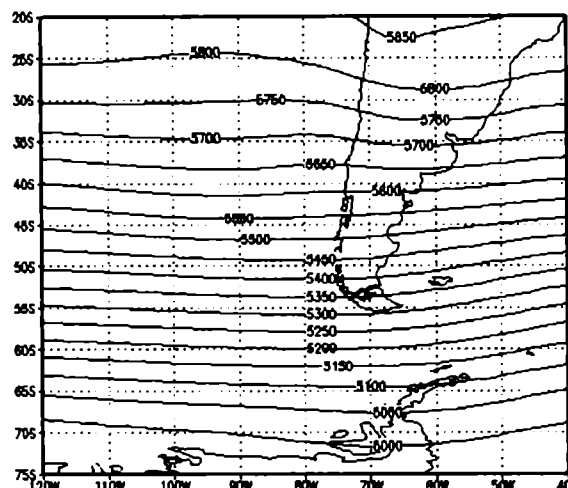


Fig. 5.13: ídem Figura 5.11 para el mes de octubre en el período 1979-1995 (NCEP).

En el mes de octubre, se acentúa la influencia del Anticiclón del Pacífico sobre la región, debido a un corrimiento de las altas presiones hacia el Este (Figuras 5.10 y 5.12), la zona presenta un máximo relativo de temperatura media del aire en superficie, alcanzando en promedio 17.5°C (Fig. 5.16).

El campo de altura geopotencial en la troposfera media muestra una disminución del gradiente meridional de presión, con un flujo medio marcadamente zonal, característico de latitudes medias (Figuras 5.11 y 5.13). La temperatura media del aire en 500 hPa varía entre -21°C en septiembre (Figura 5.15) y -19.5 °C en octubre (Figura 5.17).

Sturman (1979) clasifica subjetivamente los tipos de circulación tomando como base la curvatura de las isobaras en las categorías anticiclónica, ciclónica y no especificada. El autor indica para la zona comprendida entre 25° y 40° latitud Sur y 65° y 80° de longitud W que la tercera parte de los casos corresponden a circulación anticiclónica y la cuarta parte a circulación ciclónica.

Las situaciones que propician la ocurrencia de heladas radiativas nocturnas intensas pueden estar también asociadas a episodios de bloqueo, debido a que la configuración anticiclónica puede permanecer por varios días sobre la región en los casos en que el flujo está bloqueado.

Las estadísticas de episodios de bloqueo muestran un máximo secundario de frecuencias de dichos casos al Sudeste de Sudamérica, probablemente asociados a ondas largas estacionarias

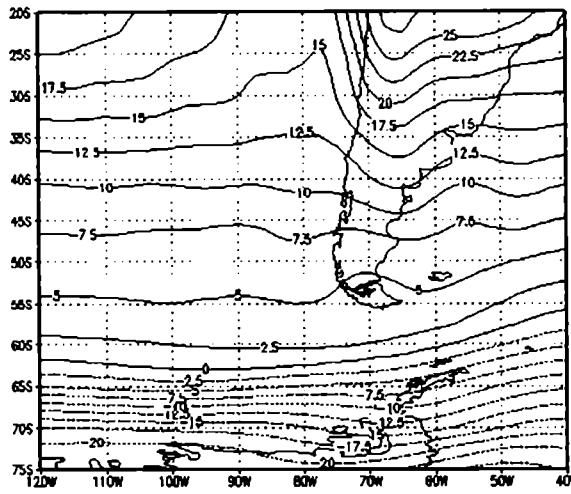


Fig. 5.14: Temperatura del aire media mensual (°C) en superficie en septiembre para el período 1979-1995 (NCEP), mapa elaborado por NOAA-CIRES, Climate Diagnostics Center

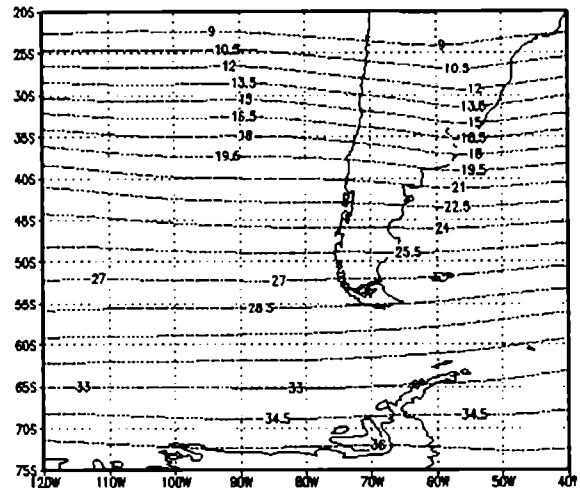


Fig. 5.15: Temperatura del aire media mensual (°C) en 500 hPa en septiembre para el período 1979-1995 (NCEP), mapa elaborado por NOAA-CIRES, Climate Diagnostics Center.

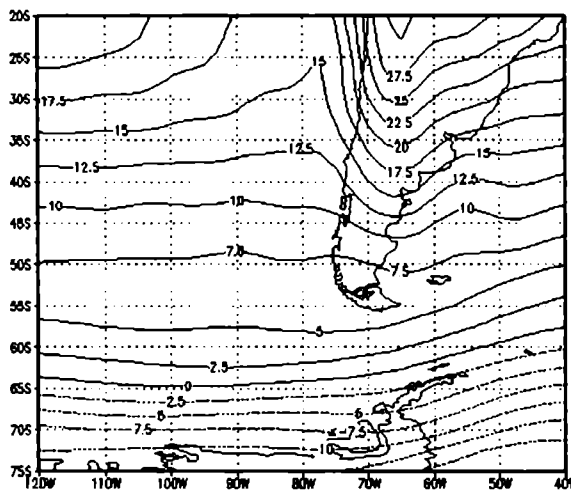


Fig. 5.16: ídem Figura 5.14 para el mes de octubre en el período 1979-1995 (NCEP).

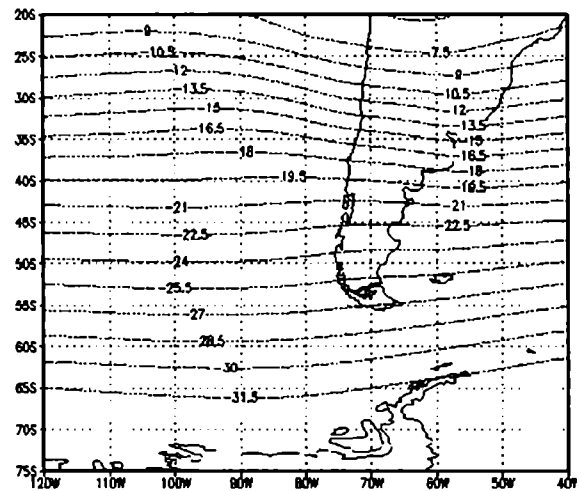


Fig. 5.17: ídem Figura 5.15 para el mes de octubre en el período 1979-1995 (NCEP).

(ondas 3 y 4), aunque en muchas ocasiones, los bloqueos ocurren como fenómenos locales (Trenberth y Mo, 1985).

Los bloqueos en el Hemisferio Sur son menos intensos, ocurren en latitudes menores y perduran durante menos tiempo que los del Hemisferio Norte, probablemente debido a la

presencia de los vientos troposféricos más intensos del oeste (Coughlan, 1983; Trenberth y Mo, 1985).

La circulación atmosférica en todo el territorio argentino está influenciada por la presencia de la cordillera de los Andes. Se ha encontrado que las cadenas montañosas inciden en la generación y evolución de depresiones, asociando un máximo de ciclogénesis a sotavento de obstáculos orográficos (Lichtenstein, 1989). Los sistemas sufren cambios estructurales cuando cruzan las montañas, especialmente asociados a las formaciones nubosas y las precipitaciones.

Puede observarse anticiclogénesis detrás de frentes fríos avanzando sobre el continente. Las primeras circulaciones anticiclónicas cerradas son detectadas generalmente en la región de las provincias de Neuquén, Río Negro y La Pampa, entre 33° y 38° S, en donde la altura de la cordillera se encuentra entre 2000 m y 5000 m. Hacia el sur de 38°S las masas de aire frío cruzan la cordillera sin dificultad, pero más hacia el Norte su paso es cada vez más obstaculizado por las montañas. Las masas de aire rodean allí las montañas presentando un efecto anticiclónico, con intensificación de la divergencia y subsidencia y produciendo una acumulación de aire con punto de rocío muy bajo (Lichtenstein, 1989).

Evaluaciones llevadas a cabo por Troup y Streten (1972) muestran que el desarrollo de los vórtices ocurre preferentemente en latitudes bajas y medias, su madurez se presenta en latitudes medias y altas y su decaimiento en latitudes altas.

RESUMEN

-El clima de la zona está incluido en el tipo BWk de la clasificación climática de Köppen: desértico frío con verano cálido (Köppen, 1931).

-El clima de la Patagonia está caracterizado principalmente por la constancia e intensidad del viento. Los vientos del W prevalecen durante todo el año en la Patagonia.

-La distribución anual de las direcciones de viento de estaciones individuales muestran que las frecuencias de vientos del W están entre el 50 - 70% (incluyendo calmas).

-La nubosidad presenta un régimen con mínima nubosidad en verano y máxima nubosidad asociada a vientos del W en invierno.

-En la estación Neuquén la intensidad media mensual del viento presenta su valor mínimo en julio y aumenta hasta alcanzar su valor máximo en octubre. En VR, las intensidades medias mensuales son más constantes y no se presenta un mínimo marcado. En NA y en VR, el rango de variación de la intensidad media mensual es menor que en CI y AV.

-En NA, CI y AV se observa un máximo relativo muy importante para las direcciones correspondientes a los sectores W y SW (39.4 % en Neuquén, 41.0 % para Cipolletti, 36.9 % en Alto Valle en total para ambas direcciones). En Cipolletti y en Alto Valle se presentan mínimos marcados en las direcciones Norte y Sur (3.8 y 5.8% Cipolletti, y 1,9% y 2,9% en Alto Valle, respectivamente. Este efecto puede relacionarse con la topografía en ambas localidades, ya que al estar ubicadas en el interior del valle, los vientos de escala regional provenientes de dichos sectores pueden detectarse a alturas del orden de las paredes de la barda (35- 40 m). En Villa Regina, en cambio, se presenta una rosa de vientos con forma de estrella con máximos en las direcciones NW (23.7%), SW (24.0%) y SE (22.2%). La velocidad media del viento para el período de 30 años es 3.8 m/s y 2.9 m/s para Neuquén Aero y Alto Valle y 2.8 m/s y 3.3 m/s para

Cipolletti y Villa Regina, respectivamente.

En la región de los valles de los ríos Limay, Neuquén y Negro, se presentan además las siguientes características:

- En Alto Valle las frecuencias del viento proveniente de los sectores Norte y Sur muestran valores mucho menores debido a la presencia de los bordes de la meseta que actúan en forma de paredes, que influyen sobre la conducción del flujo del aire dentro del valle.
- En Cipolletti, el viento presenta una dirección preferencial de los sectores Oeste y Sudoeste, siguiendo el valle del río Limay, lo que verificaría la acción de los bordes del valle del río Neuquén, disminuyendo la componente de viento perpendicular al mismo.
- Las temperaturas mínimas medias mensuales de las estaciones Neuquén, Alto Valle, y Cipolletti durante el período 1961-1990 y de Villa Regina durante el período 1961-1970. fueron mayores en Cipolletti, disminuyendo en Neuquén Aero, Alto Valle y Villa Regina. Los valores de la temperatura mínima media del período 1961-1990 en Neuquén, Alto Valle y Villa Regina son en promedio menores que en Cipolletti, (0.8 °C en Neuquén, 1.9 °C en Alto Valle y 2.1 °C en Villa Regina).

Los campos medios de altura geopotencial en el período 1979 -1995 muestran en septiembre una leve influencia del Anticiclón semi-permanente del Pacífico. En octubre, se acentúa la influencia del Anticiclón del Pacífico sobre la región. En la troposfera media se presenta el flujo marcadamente zonal, característico de latitudes medias.

La ocurrencia de heladas radiativas nocturnas intensas pueden estar también asociados a episodios de bloqueo, debido a que una configuración anticiclónica puede permanecer por varios días sobre la región.

La circulación atmosférica en todo el territorio argentino está influenciada por la presencia de la cordillera de los Andes. Las primeras circulaciones anticiclónicas son detectadas generalmente en la región de las provincias de Neuquén, Río Negro y La Pampa, entre 33° y 38° S, en donde la altura de la cordillera se encuentra entre 2000 m y 5000 m.

6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS HORARIOS DE TEMPERATURA DEL AIRE Y VIENTO

6.1. INTRODUCCIÓN

Se analizaron los estadísticos descriptivos de la velocidad y dirección del viento y de la temperatura del aire obtenidas a intervalos de una hora, de las estaciones Neuquén Aero (NA), Alto Valle (AV), Cinco Saltos (CS) y Villa Regina (VR) de los meses de septiembre y octubre de 1988 y 1989 y se analizaron los datos desde el punto de vista de la muestra, sin tener en cuenta la cronología de los mismos.

6.1.1 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS

Se calcularon los valores del promedio, desviación estándar y coeficientes de asimetría y curtosis de la temperatura del aire horaria en NA, CS, AV y VR y de la intensidad del viento en NA (Tabla 4.vi y Tabla 4.viii), definiendo para los valores x_i desde $i=0$ hasta $i=N$ de la muestra, los siguientes estadísticos (ver por ejemplo: Panofsky y Brier, 1958):

a) Valor medio (\bar{X}):

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=0}^N x_i}{N} \quad (6.1)$$

b) Desviación estándar (σ):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{i=0}^N (\bar{x} - x_i)^2} \quad (6.2)$$

c) Coeficiente de Asimetría(sk)

$$sk = \frac{\sum x_i^3}{N s^3} \quad (6.3)$$

d) Coeficiente de curtosis (k)

$$K = \frac{\sum x_i^4}{N s^4} \quad (6.4)$$

donde $s^2 = \sigma^2$ es la varianza de la muestra.

6.2 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TEMPERATURA

Las Tablas 4.iv a 4.vii, presentan los valores del promedio (\bar{T}) y de la desviación estándar (S_T) de la temperatura del aire ($S = \sigma$ es la desviación estándar de la muestra) correspondientes a las estaciones Neuquén Aero (NA), Alto Valle (AV), Cinco Saltos (CS) y Villa Regina (VR). En ellas se puede apreciar que tanto en 1988 como en 1989, los valores de la temperatura media fueron mayores en la estación Neuquén Aero (12.9°C y 14.1°C respectivamente) y menores en Cinco Saltos ($\bar{T} = 12.1^\circ\text{C}$ en 1988) y Alto Valle ($\bar{T} = 12.53^\circ\text{C}$ en 1989), respectivamente. Alto Valle presenta la mayor dispersión (6.45°C en 1988 y 7.84°C en 1989) y Neuquén Aero la menor (5.72°C en 1988 y 6.64°C en 1989). Los valores de las temperaturas medias fueron evaluadas mediante una prueba t y las varianzas según una prueba F y en ambos casos mencionados los valores difieren al 95%. La temperatura media y la desviación estándar de Villa Regina no difieren significativamente de los valores de Neuquén Aero.

En septiembre y octubre de 1988 y 1989, los menores valores de temperatura mínima absoluta ($T_{\min} = -5.9^\circ\text{C}$ en 1988 y $T_{\min} = -6.9^\circ\text{C}$ en 1989) y los mayores valores de temperatura máxima ($T_{\max} = 31.6^\circ\text{C}$ en 1988 y $T_{\max} = 34.3^\circ\text{C}$ en 1989) se presentan en Alto Valle. Consecuentemente, también ocurre la mayor amplitud térmica anual en el período considerado (37.5°C en 1988 y 41.2°C en 1989).

Los valores de asimetría varían según el año, presentando valores positivos en Neuquén Aero en ambos años. Esto indica que el valor medio es mayor que el más frecuente. En el resto de las estaciones la asimetría tiene signos diferentes en ambos años.

Los valores del coeficiente de curtosis para todas las estaciones, son similares aunque menores en 1989, o sea que en ese año los valores se distribuyeron más alejados del valor más frecuente, dando una distribución más plana (leptocúrtica).

Si bien los valores de los diferentes momentos presentan una idea de la forma de la distribución, graficando los histogramas correspondientes (Figuras 6.1 a 6.8) se puede observar dicha distribución. El histograma es una representación poco sugestiva de la forma verdadera de la curva de frecuencias, por lo que no es conveniente inferir una curva a partir de los puntos del histograma, ya que el mismo introduce aproximaciones. Por ejemplo, la posición del valor correspondiente a la frecuencia máxima, se encuentra muy influido por el ancho del intervalo de clase elegido.

Las Figuras 6.1 a 6.8 muestran los histogramas de los datos horarios de temperatura pertenecientes a NA, CS, AV y VR para los meses de septiembre y octubre de 1988 y 1989 y la respectiva distribución normal para cada caso. El test de ajuste a una distribución normal es rechazada al 95% en todos los casos, excepto en la muestra de CS para el año 1988 y en la de VR para el año 1989.

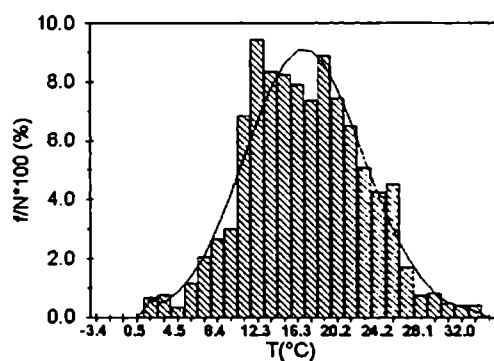


Fig. 6.1: Histograma de la temperatura del aire, datos horarios, para la estación Neuquén Aero, en los meses septiembre y octubre de 1988. (valores del límite sup. del intervalo de clase).

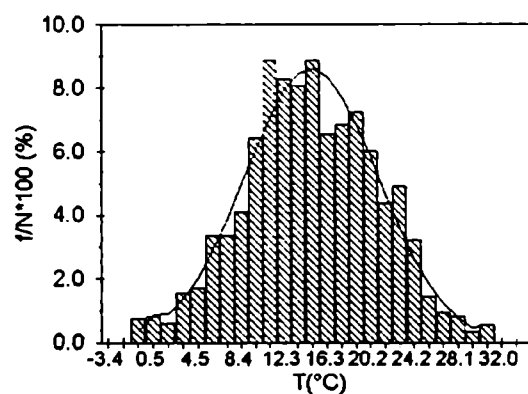


Fig. 6.2: ídem Figura 6.1, estación Cinco Saltos, septiembre y octubre de 1988.

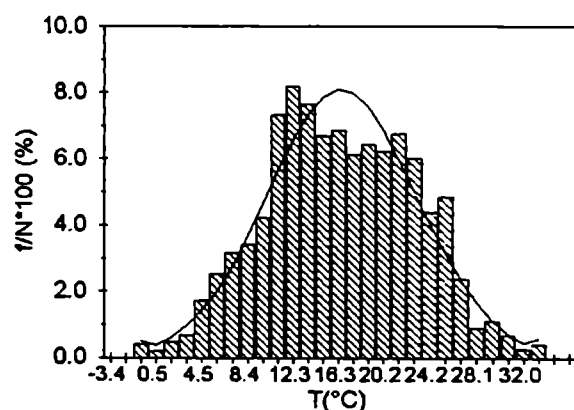


Fig. 6.3: ídem Figura 6.1, en la estación Alto Valle, septiembre y octubre de 1988.

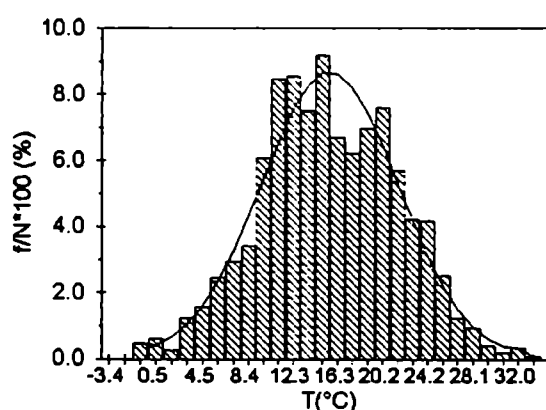


Fig. 6.4: ídem Figura 6.1, en estación Villa Regina, septiembre y octubre de 1988.

Superpuesto a cada uno de los histogramas de temperatura (Figuras 6.1 a 6.8), se presenta el ajuste teórico de una distribución normal, con los promedios y desviación estándar previamente calculados.

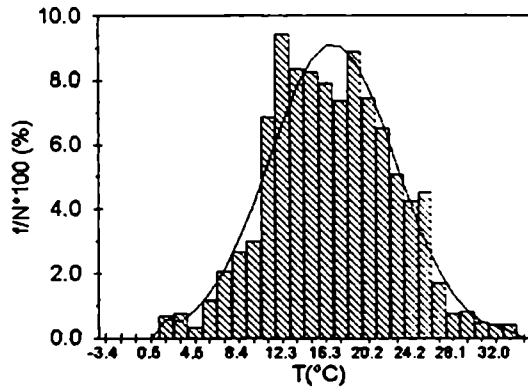


Fig. 6.5: ídem Figura. 6.1, estación Neuquén Aero septiembre y-octubre de 1989.

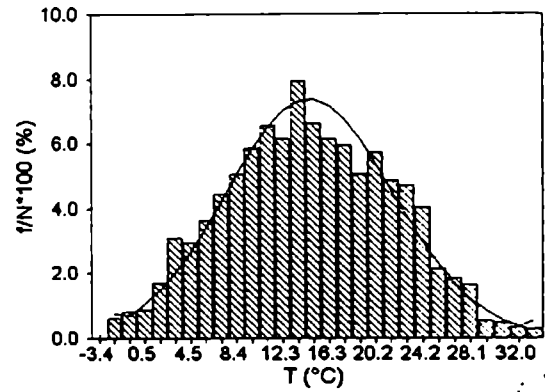


Fig. 6.6: ídem Figura 6.1, estación Cinco Saltos, septiembre y- octubre de 1989.

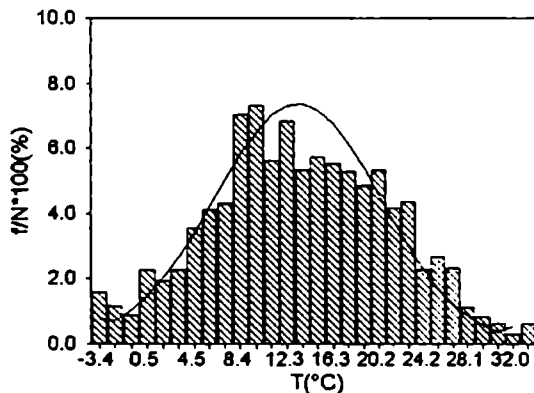


Fig. 6.7: ídem Figura 6.1, estación Alto Valle, septiembre y octubre de 1989.

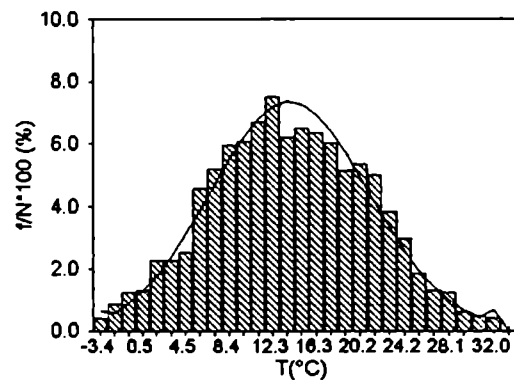


Fig. 6.8: ídem Figura. 6.1, estación Villa Regina septiembre y- octubre de 1989.

En las Figuras 6.9 y 6.10 se muestran las curvas de frecuencias porcentuales acumuladas de los datos horarios de temperatura del aire correspondientes a septiembre y octubre de 1988 y 1989, respectivamente y para cada una de las estaciones meteorológicas. Se encuentra que en 1988, el 2,5 % de los datos son menores que 0°C en todas las estaciones, mientras que en 1989 el porcentaje varía entre el 1% en Neuquén Aero y el 5% en Alto Valle. En 1988 el 90% de los datos son inferiores a 20°C y en 1989 a 23°C.

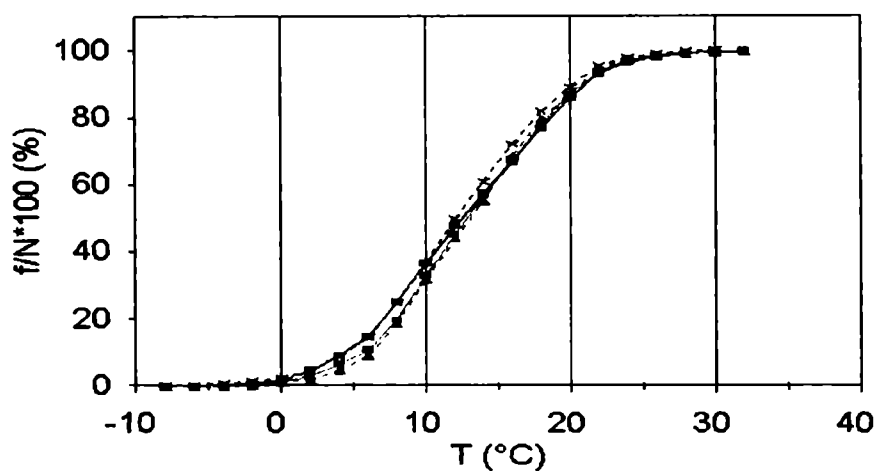


Fig. 6.9: Distribución de frecuencias acumuladas porcentuales en las estaciones Neuquén Aero (▲), V.Regina (●), Alto Valle(■) y C.Saltos(X) en el periodo septiembre y octubre de 1988.

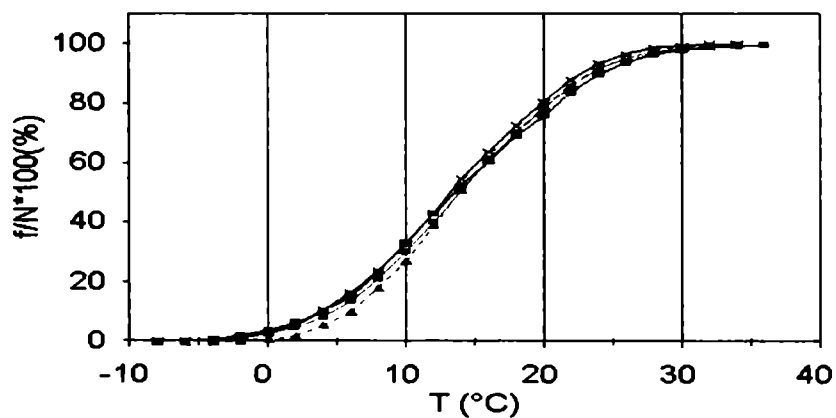


Fig. 6.10: ídem Figura 6.9 en las estaciones Neuquén Aero (▲), V.Regina (●), Alto Valle(■) y C.Saltos(X) en el periodo septiembre y octubre de 1989.

El análisis de los datos de temperatura del aire muestra un porcentaje pequeño de valores horarios de temperatura bajo cero en el caso elegido, pero como se explicó en el Capítulo 2, estos casos cobran importancia en la región debido al estado fenológico de los árboles frutales.

6.3. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE INTENSIDAD DE VIENTO

Las Figuras 6.11 a 6.13 presentan las respectivas distribuciones de frecuencias de la intensidad del viento correspondiente a septiembre y octubre de 1988 y 1989 y para el total de los datos en Neuquén Aero.

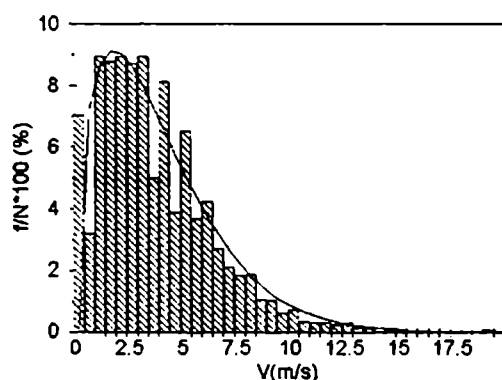


Fig. 6.11: Histograma de velocidad del viento en Neuquén Aero para septiembre y octubre de 1988 y 1989 (barras) y ajuste teórico de la distribución de Weibull II (línea).

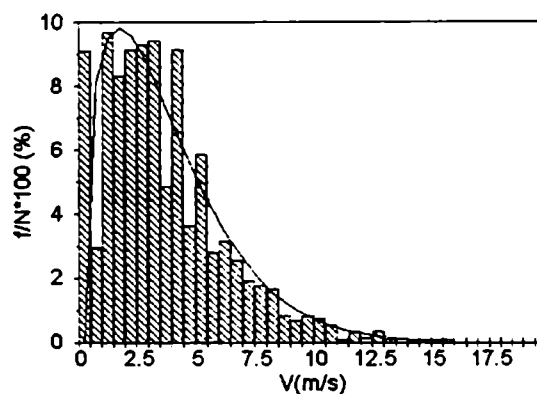


Fig. 6.12: idem Figura 6.11 en Neuquén Aero, para septiembre y Octubre de 1989(barras) y ajuste teórico distribución de Weibull II (línea).

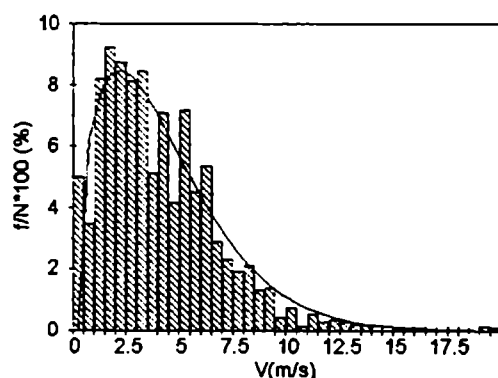


Fig. 6.13: Histograma de velocidad del viento en Neuquén Aero para septiembre y octubre de 1988 (barras) y ajuste teórico de la distribución de Weibull II (línea).

La curva teórica ajustada es la correspondiente a la distribución Weibull, de acuerdo a lo sugerido entre otros autores por Justus y otros (1976) y Barros y Estevan (1986). La distribución de Weibull, es una familia de funciones de dos parámetros (c y k_w) que ha sido ajustada con éxito

a distribuciones de frecuencias de viento, y está dada por:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] ; \quad v \geq 0 \quad (6.5)$$

$$f(v) = 0 \quad \text{en otro caso}$$

$$\begin{aligned} \mu &= c \Gamma(1 + 1/k) \\ \sigma^2 &= c^2 \left[\Gamma(1 + 1/k) - \Gamma^2(1 + 1/k) \right] \end{aligned} \quad (6.6)$$

donde $f(v)$ es la función de densidad de probabilidad de Weibull, c es el parámetro de escala, con dimensiones similares a v y k_w es el parámetro de forma (adimensional).

La probabilidad de ocurrencia de un valor de velocidad del viento (v) menor o igual que otro (v_x) está dada por:

$$P(v \leq v_x) = \int_0^{v_x} f(v) \, dv = 1 - \exp \left[- \left(\frac{v_x}{c} \right)^k \right] \quad (6.7)$$

Los valores de los parámetros k_w y c se obtuvieron por medio de un ajuste por cuadrados mínimos; despejando de la ecuación (6.6), (Justus y otros, 1976) siendo:

$$\begin{aligned} Y_i &= a + bX_i \\ x_i &= \ln V_i \\ Y_i &= \ln \left(-\ln(1 - p_i) \right) \end{aligned} \quad (6.8)$$

Por lo tanto, los coeficientes de la función de Weibull se pueden obtener a partir de la ordenada al origen (a) y de la pendiente de la recta de regresión (b), de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \ln c &= (-a/b) \\ k &= b \end{aligned} \quad (6.9)$$

El valor medio (μ) y la varianza (σ^2) de la distribución de Weibull se pueden expresar en función de funciones gamma (Hennessey, 1977) (ver Ec. 6.6)

Takle y Brown (1978) realizaron una comparación de diferentes métodos para la obtención de dichos parámetros en Des Moines y en Ames (Iowa, EEUU). Mediante el método propuesto por Justus y otros (1976) utilizado también en los datos de NA, obtuvieron un valor de $k_w = 2.33$ y $c = 5.5$ m/s en Des Moines y $k_w = 2.42$, $c = 5.21$ m/s en Ames.

La Tabla 6.i muestra los valores de los coeficientes k_w y c de la distribución Weibull para la intensidad del viento en la estación Neuquén Aero en los meses de septiembre y octubre de 1988 y 1989 y para los dos años (1988-1989).

Tabla 6.i: Valores de los coeficientes k_w y c de la distribución Weibull II.

| Año | $c(m/s)$ | k_w |
|-------|----------|-------|
| 1988 | 4.6 | 1.5 |
| 1989 | 4.1 | 1.3 |
| 88-89 | 4.1 | 1.4 |

Calculando los estimadores del valor medio y la desviación estándar de la distribución de Weibull (6.6) con los parámetros k_w y c obtenidos (Tabla 6.i), se obtiene para 1989 $\mu = 3.74$ m/s y $\sigma = 2.84$ m/s, valores que no difieren significativamente al 95 % de los estadísticos obtenidos a partir de la muestra de intensidad de viento del año 1989 (Tabla 3.vi, $\bar{V} = 3.42$ m/s y $\sigma = 2.63$ m/s).

Wentink (1976) y Justus y otros (1976) indican que el parámetro k_w toma valores entre 1.1 y 2.6 con un valor promedio de 2.0. Valores similares a los hallados en NA fueron encontrados en la estación Cannery Mountain en una zona de terreno rugoso localizada al sur del Río Siletz (EEUU), a 325 m snm. ($k_w = 1.8$, $c = 4.9$ m/s, $\bar{V} = 4.36$ m/s y $\sigma = 2.6$ m/s) (Hennessey, 1977).

6.3.1 Vinculación de la intensidad con las direcciones del viento

Como se mencionó en el Capítulo 5, en las estaciones ubicadas en el interior de valles, las direcciones de viento más frecuentes, están asociadas con las características topográficas de la zona.

Para una mejor comprensión de la circulación del aire en la zona, es importante conocer si algunas direcciones del viento están vinculadas con un determinado intervalo de intensidad.

En el Capítulo 7 se analiza el viento en el período 1982-1994. En ese período el viento medio se presenta del W en ambos meses en Neuquén Aero, pero con una leve componente WNW en septiembre. En los meses de septiembre y octubre de 1988 y 1989, se presentaron intensidades por debajo del valor medio y la dirección media presentó una leve rotación hacia el Sur o sea que la dirección se mantuvo principalmente del W durante los dos meses (ver Capítulo 7).

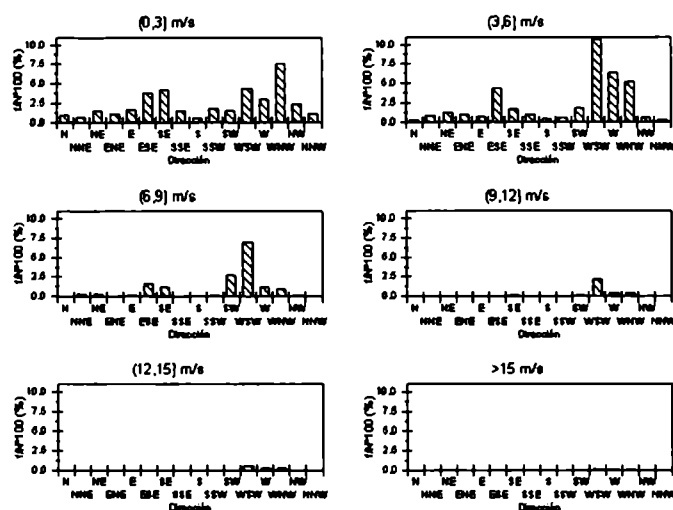


Fig. 6.14: Distribución de frecuencias de vientos de distinta dirección asociados a rangos valores de intensidad del viento, en la estación meteorológica Neuquén Aero, en septiembre y octubre de 1988.

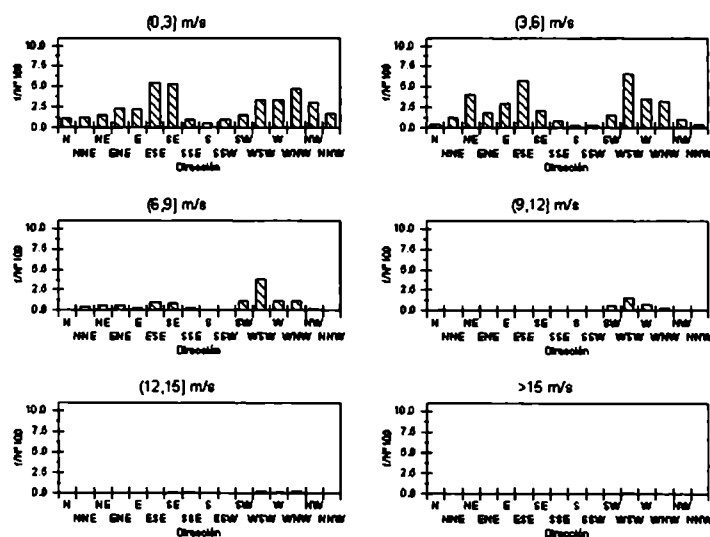


Fig. 6.15: idem Figura 6.14 en la estación Neuquén Aero, en septiembre y octubre de 1989.

Las Figuras 6.14 y 6.15 muestran la distribución de frecuencias de viento de distintas direcciones asociadas a valores de intensidad de viento para la estación NA, en septiembre y octubre de 1988 y 1989.

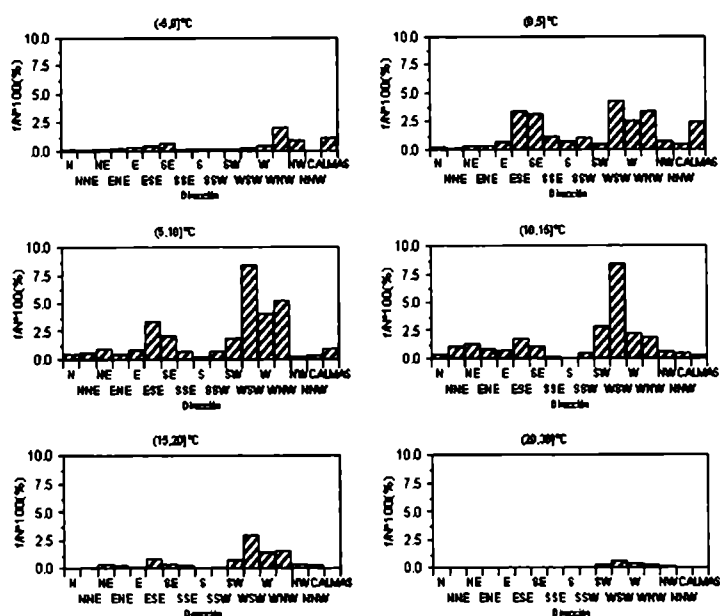


Fig. 6.16: Distribución de frecuencias de direcciones de viento asociadas a intervalos de temperatura, en la estación meteorológica Neuquén Aero, en el período septiembre y octubre de 1988.

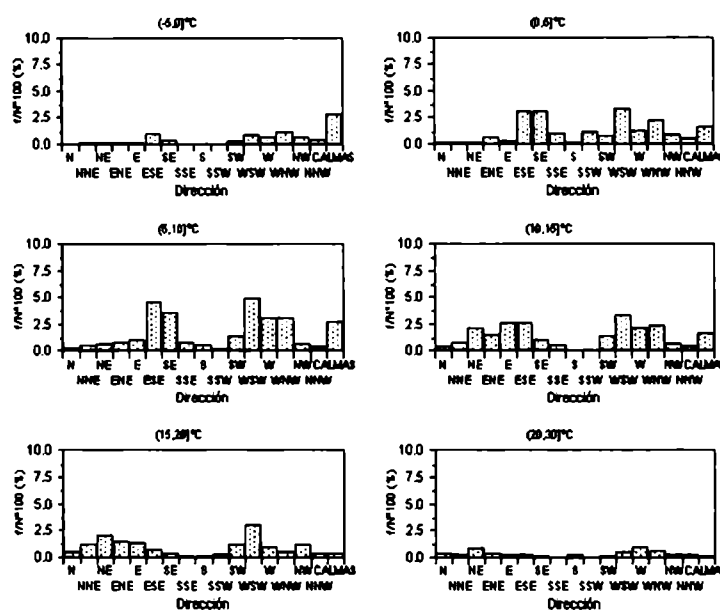


Fig. 6.17: ídem Figura 6.16 en la estación Neuquén Aero, en el período septiembre y octubre de 1989.

Se puede observar que los vientos del WSW ocurren asociados a todo el rango de intensidad de viento, mientras que los vientos del ESE y SE sólo se asocian a intensidades menores a 9 m/s.

Los vientos leves, se presentan en todas las direcciones especialmente en las direcciones

ESE-SE y WNW que concuerdan con la dirección del valle.

6.3.2 Vinculación de la temperatura del aire con las direcciones de viento

Una asociación entre la ocurrencia de temperaturas bajas y direcciones de viento permitiría inferir algunos procesos físicos actuantes en el valle. Las Figuras 6.16 y 6.17 muestran la frecuencia de ocurrencia de intervalos seleccionados de temperatura asociados a cada dirección de viento en la estación Neuquén Aero para los meses de septiembre y octubre de 1988 y 1989.

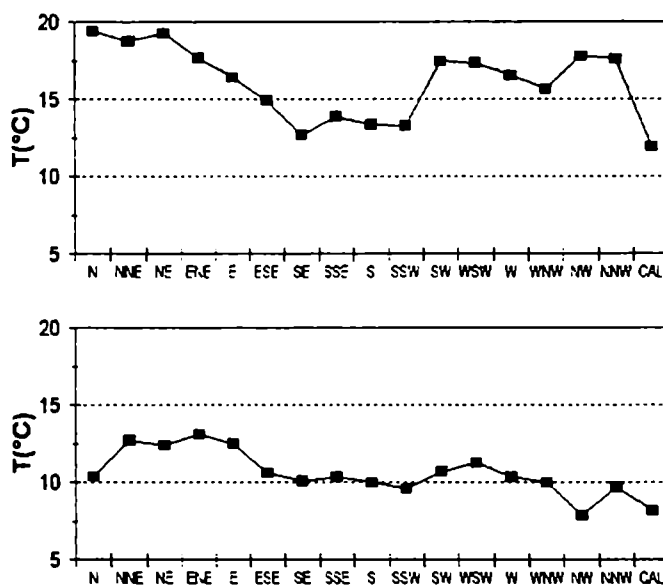


Fig. 6.18: Temperaturas medias por dirección para los meses de septiembre y octubre de 1988-1989 durante el día (arriba) y durante la noche (abajo).

Se observa que las temperaturas por debajo de los 10°C están asociadas en condiciones de calma y a las direcciones de los sectores ESE, WNW y NW que en general se presentan con viento menor o igual a 3 m/s (ver Figuras 6.14 y 6.15).

Este resultado podría insinuar la importancia del enfriamiento radiativo nocturno en la disminución de temperatura especialmente durante la noche. El mayor número de casos de temperatura del aire entre 5°C y 10°C se asocian a direcciones del ESE y WSW (ESE coincidente con la dirección del valle del río Negro y WSW aproximadamente la dirección del valle del río Limay).

La Figura 6.18 muestra la temperatura media del aire durante el día y la noche asociada a cada dirección en Neuquén Aero. Los valores de temperatura y sus variaciones son menores

durante la noche. Las mayores temperaturas están asociadas a las direcciones del sector WNW - NE y del WSW. La posición de los máximos se mantiene durante el día y la noche. La menor temperatura media se presenta tanto en el día como en la noche en situaciones de calma. Se aprecian además mínimos relativos asociados a la dirección S, más intenso durante el día. La

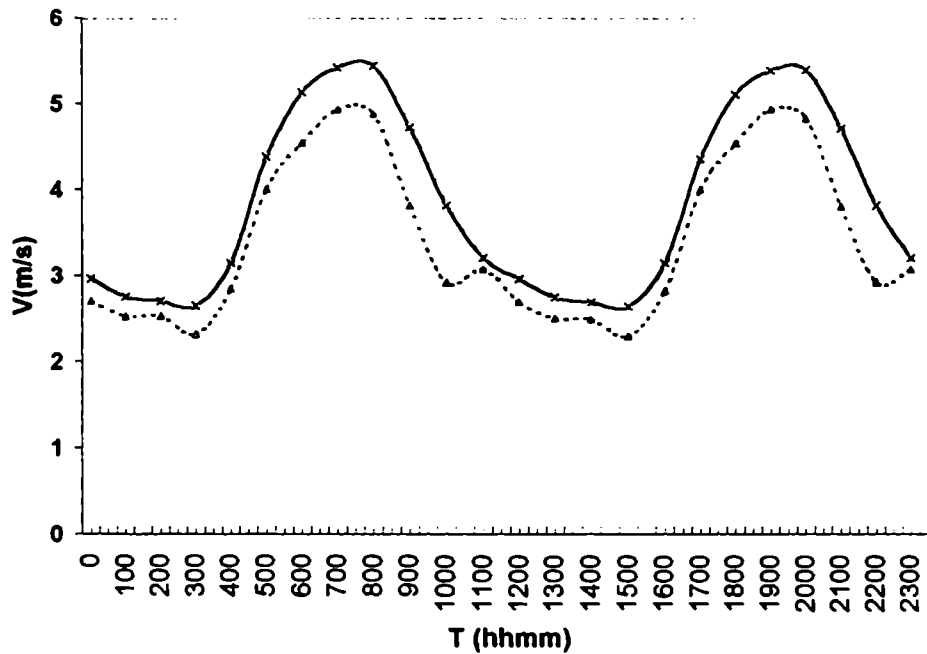


Fig. 6.19: Intensidad media horaria del viento en NA en septiembre y octubre de 1988 (—x—) y 1989 (- - Δ - -).

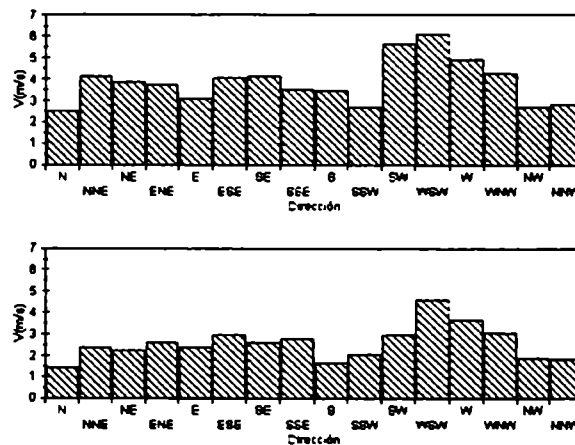


Fig. 6.20: velocidad media del viento en Neuquén Aero para el día (grafico superior) y para la noche (gráfico inferior) en septiembre y octubre de 1988 y 1989.

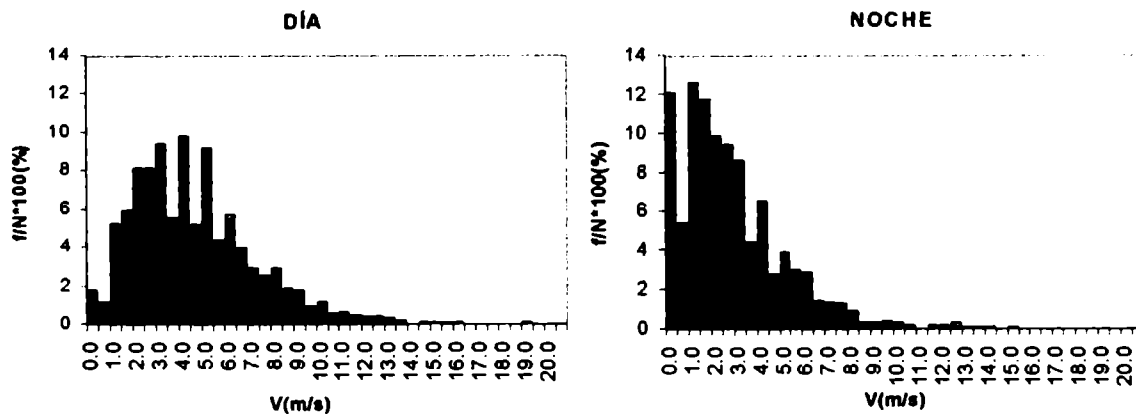


Fig. 6.21: Distribución de frecuencias de intensidad del viento es NA en septiembre y octubre de 1988 y 1989 durante el día (izquierda) y la noche (derecha).

dirección NW durante la noche y WNW durante el día presentan disminución de la temperatura. Este efecto estaría relacionado con advección de aire caliente de menores latitudes.

6.4 VARIACIÓN DIURNA DE LA INTENSIDAD DEL VIENTO

La Figura 6.19 presenta la intensidad media horaria del viento en NA en septiembre y octubre de 1988 y septiembre y octubre de 1989. Se puede observar un ciclo cada 12 horas con variaciones del orden de los 3 m/s con máximos cercanos a la salida del sol y al atardecer.

En la Figura 6.20 se presenta las velocidades medias del viento en NA correspondientes a la dirección del viento, las mayores velocidades se presentan en el sector SW-WNW tanto en el día como en la noche. Durante la noche, si bien se mantiene la presencia de un máximo relativo, la distribución temporal de velocidades medias es más homogénea.

La distribución de frecuencias de la intensidad media horaria del viento en Neuquén Aero, muestra un máximo de frecuencias en 4 m/s durante el día, mientras que el valor más frecuente está alrededor de 1.5 m/s durante la noche para los meses de septiembre y octubre de los dos años considerados (ver Figura 6.21). La intensidad media durante la noche es algo mayor al valor más frecuente y alcanza 2.76 m/s y mientras que durante el día es 4.52 m/s.

RESUMEN

Los principales resultados obtenidos en este Capítulo se pueden resumir de la siguiente manera:

En septiembre y octubre de 1988 y 1989, la temperatura media fue mayor en la estación Neuquén Aero y menor en Cinco Saltos y Alto Valle, respectivamente. Alto Valle presenta la mayor dispersión y Neuquén Aero la menor. En Villa Regina los valores no difieren significativamente de NA.

En los dos años estudiados, Alto Valle presenta los menores valores de temperatura mínima ($T_{\min} = -5.9^{\circ}\text{C}$ en 1988 y $T_{\min} = -6.9^{\circ}\text{C}$ en 1989) y los mayores valores de temperatura máxima ($T_{\max} = 31.6^{\circ}\text{C}$ en 1988 y $T_{\max} = 34.3^{\circ}\text{C}$ en 1989). Consecuentemente, también ocurre la mayor amplitud térmica anual en el período considerado llegando a 41.2°C en 1989.

La distribución de intensidad de viento fue ajustada a una función de Weibull con coeficientes k_w y c . Los valores de los parámetros de la distribución de Weibull encontrados en NA fueron similares a los obtenidos en la estación Cannery Mountain en una zona de terreno rugoso localizada al sur del Río Siletz (EEUU), a 325 m snm. ($k_w=1.8$, $c=4.9$ m/s, $V=4.36$ m/s y $\sigma=2.6$ m/s)(Hennessey, 1977).

Durante los meses de septiembre y octubre de 1988 y 1989, los vientos del WSW en Neuquén Aero estuvieron asociados a todo el rango de intensidad de viento, mientras que los vientos del ESE y SE sólo se asociaron a intensidades menores a 9 m/s.

Las mayores frecuencias de direcciones de viento en Neuquén Aero asociadas a temperaturas del aire con valores por debajo de los 0°C ocurrieron con condiciones de calma y con viento de direcciones ESE, WNW y NW. Estas direcciones coincidieron con una mayor frecuencia de intensidad de viento menor o igual a 3 m/s. Este resultado podría insinuar la importancia del enfriamiento radiativo nocturno en la disminución de temperatura durante la noche. El mayor número de casos de temperatura del aire entre 5°C y 10°C se asocia a direcciones del ESE y WSW coincidente con el eje longitudinal del valle del río Negro.

7. ANÁLISIS SINTÉTICO DE LA SITUACIÓN METEOROLÓGICA MEDIA CERCANA AL SUELO, CORRESPONDIENTE A SEPTIEMBRE Y OCTUBRE

7.1 INFORMACIÓN

En este capítulo se analiza información meteorológica en escala sinóptica presente en la región de los valles de los ríos Limay, Neuquén y Negro durante los períodos incluidos en los datos analizados (septiembre y octubre de 1988 y de 1989, entre el 1 y el 5 de septiembre y el 13 y el 17 de octubre de 1993 y en octubre de 1994).

Para complementar el análisis de las condiciones locales, se realizará en este Capítulo el análisis de las condiciones en escala regional, por medio de la descripción de los campos medios diarios de presión al nivel del mar y campos medios mensuales de porcentaje total de cobertura nubosa, temperatura media diaria del aire a 2 m de altura (datos del reanálisis del NCEP/NCAR) y dirección e intensidad del viento a 10 m de altura.

Los datos fueron obtenidos del CD-Rom conteniendo el reanálisis elaborado por los centros NCEP (National Centers for Environmental Prediction) y NCAR (National Center for Atmospheric Research) (Kalnay y otros, 1996).

La información proviene de datos observacionales convertidos a una grilla uniforme de 2.5 grados en latitud y 2.5 grados en longitud de manera que son levemente influenciados por el modelo utilizado en el reanálisis (NCEP/NCAR) (Doty, 1995). Los gráficos se elaboraron utilizando el software GRADS (Doty, 1995).

Se eligió como referencia de la región el punto de grilla que representa 39°S y 68°W (NG), por ser el más cercano a la estación meteorológica Neuquén Aero (NA) del Servicio Meteorológico Nacional, cuyos datos están incluidos en el reanálisis (NCEP/NCAR).

El período de las mediciones entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993 y entre el 13 y el 17 de octubre de 1993 fue elegido debido a que durante el proyecto MECIN se disponía la ejecución de las mediciones nocturnas en los casos en que se pronosticaban situaciones sinópticas que podían ser asociadas con la ocurrencia de heladas radiativas tardías.

A continuación se presenta una breve síntesis de las situaciones meteorológicas que correspondieron al período entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993 y entre el 13 y el 17 de octubre de 1993.

7.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS CAMPOS MEDIOS DIARIOS ENTRE EL 1 Y EL 5 DE SEPTIEMBRE Y ENTRE EL 14 Y EL 17 DE OCTUBRE DE 1993

Los gráficos incluidos en la Fig. 7.1, presentan la situación sinóptica media a partir de los campos medios diarios de presión en superficie de los Reanalysis del NCEP/NCAR entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993.

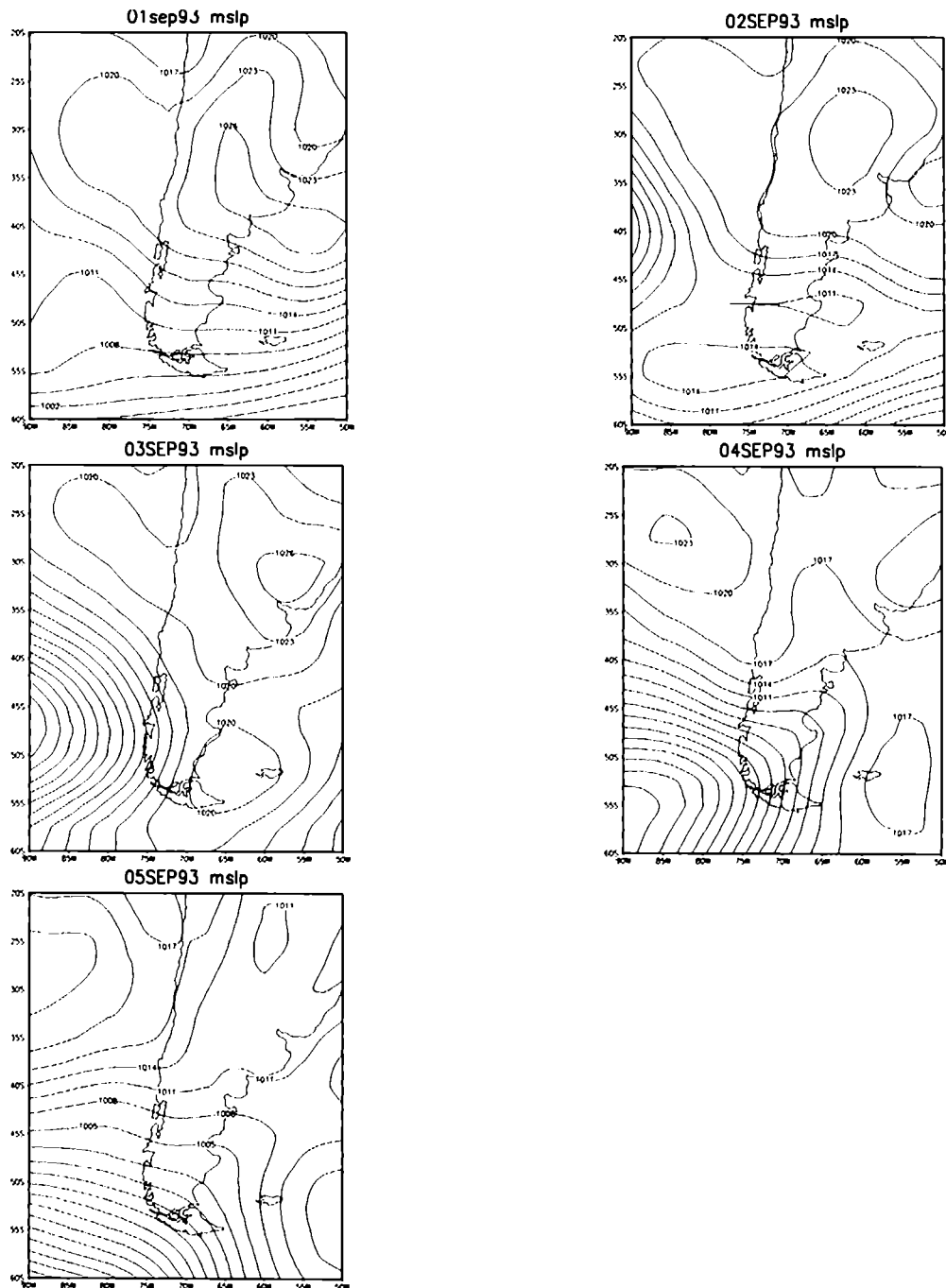


Fig. 7.1: Campos medios diarios de presión en superficie (hPa) (reanálisis del NCEP/NCAR) en el periodo del 1/9/93 al 5/9/93.

La situación sinóptica del día 1 de septiembre presentó sobre la región en la troposfera baja un sistema de alta presión dinámico asociado a un frente frío que se encontraba sobre el litoral del país, que produjo cielo despejado y tiempo muy frío en la región, con descenso de temperatura debido a un enfriamiento radiativo en el transcurso de la noche. Otro frente frío se detectaba sobre el Pacífico entre los meridianos 80° y 85° avanzando hacia el E.

El 2 septiembre se produjo el pasaje de un nuevo frente frío por la latitud de la provincia

de Chubut. El campo medio diario de presión en superficie presentaba un anticiclón en todo el centro del país y la Patagonia Norte con condiciones de cielo parcialmente nublado, descenso de la temperatura y la humedad. Se verificaron heladas en las áreas de poca nubosidad (ver Figura 7.1).

El 3 de septiembre la zona central del país se mantuvo bajo la influencia de un sistema de alta presión produciendo tiempo bueno y frío, y heladas aisladas en la zona del Alto Valle. Se detectaba un frente frío en el SW de la costa chilena asociado a un centro de baja presión.

El 4 de septiembre se produjo el pasaje del nuevo frente frío por el sur de la Patagonia, afectando parcialmente con la presencia de nubosidad a la región de los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro.

El 5 de septiembre en la zona central del país se observaba un gradiente medio de presión muy débil y un máximo relativo de presión en la zona del valle.

Las Figuras 7.2 presenta los campos de 500 hPa entre el 1 y el 5 de septiembre. Durante los días de septiembre la situación en altura favoreció la subsidencia en la troposfera, lo que inhibió la formación de nubosidad.

Los gráficos incluidos en la Fig. 7.3, presentan la situación sinóptica media a partir de los campos medios diarios presión en superficie de los Reanalysis del NCEP/NCAR entre el 13 y el 17 de octubre de 1993.

El 13 de octubre de 1993 se presenta una banda anticiclónica en el centro del país, que produjo en la zona vientos débiles y situaciones de calma (ver Tabla 8.i), asociadas a cielo despejado sobre la zona.

Durante el transcurso del día 14 de octubre se presentó una situación con cielo parcialmente nublado y viento con ráfagas de hasta 4.5 m/s (de 9:00 a 17:00 HL) asociadas a temperaturas mayores al período anterior y humedad relativa media menor a 25 %. Esto puede ser notado además en la Figura 7.5 y fueron ocasionados por un leve episodio de viento tipo zonda (ver Norte, 1989). Esta situación se mantuvo solamente en el período diurno manteniéndose vientos leves durante la noche. En el extremo sur del país se registró el pasaje de un frente frío (ver Fig. 7.3).

Los días siguientes fueron dominados por una situación con máximos relativos de presión en la ubicación de los valles con situaciones de vientos leves en el interior del valle y vientos mas intensos en la meseta, la nubosidad asociada era de niveles altos.

La Figura 7.4 presenta los campos de 500 hPa entre el 13 y el 17 de octubre. Los días 13 y 14 de octubre la situación media en 500 hPa favoreció los bajos porcentajes de nubosidad cambiando esta situación con el ingreso de una delantera de vaguada el día 15 de octubre que persistió hasta el 17.

La Figura 7.5 presenta el porcentaje medio diario de cobertura nubosa total y la temperatura media diaria a 2 m de altura (datos del reanálisis NCEP/NCAR) entre el 1 y el 5/9/93 y entre el 13 y el 17/10/93.

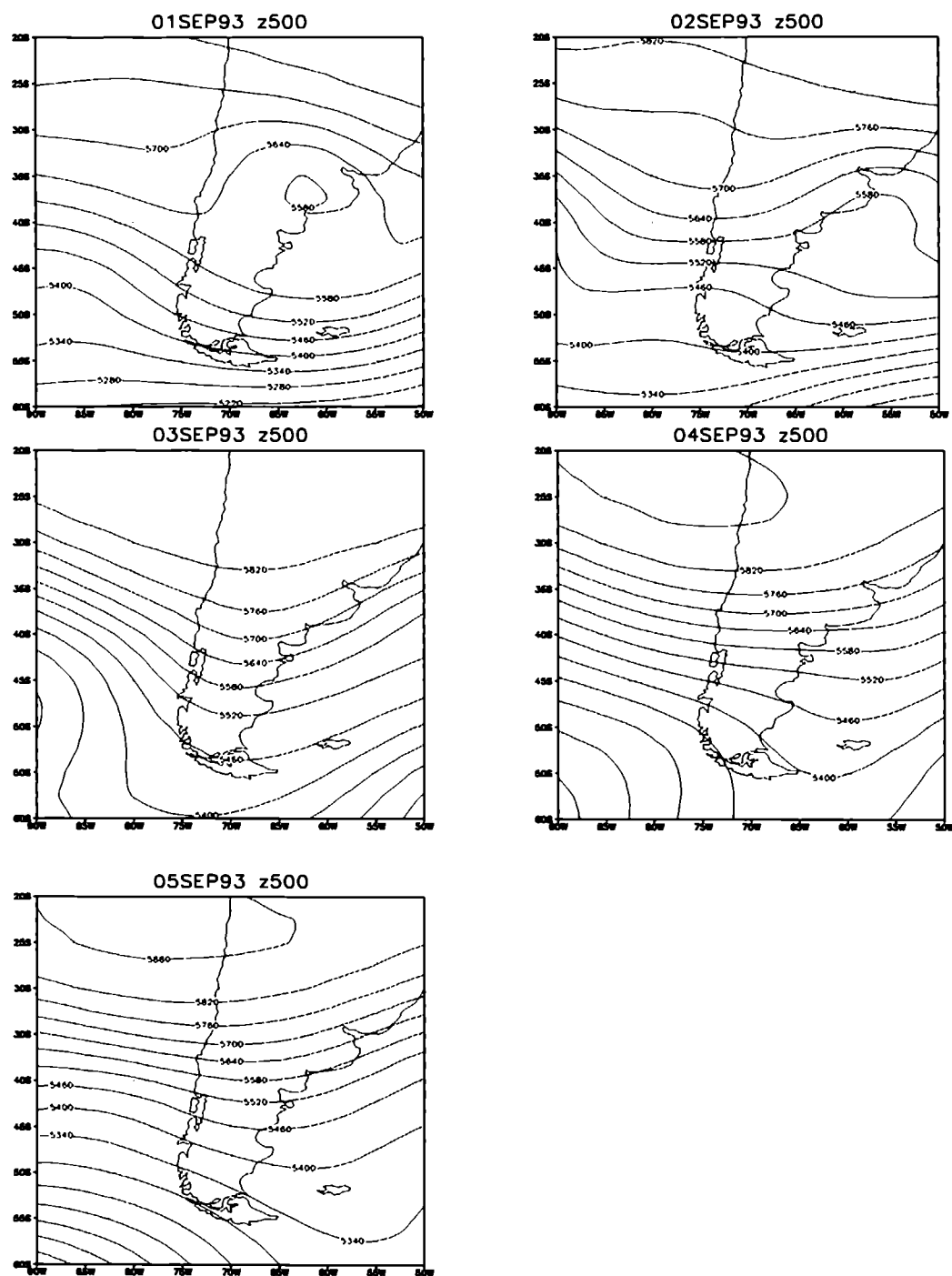


Fig. 7.2: Campos medios diarios de altura geopotencial de 500 hPa (m) (reanálisis del NCEP/NCAR) en el período del 1/9/93 al 5/9/93.

La cobertura nubosa media diaria total presentó valores menores a 35% el 1 y el 2 de

septiembre y el 15 y el 16 de octubre. En el resto de los casos se mantuvo por debajo del 50%.

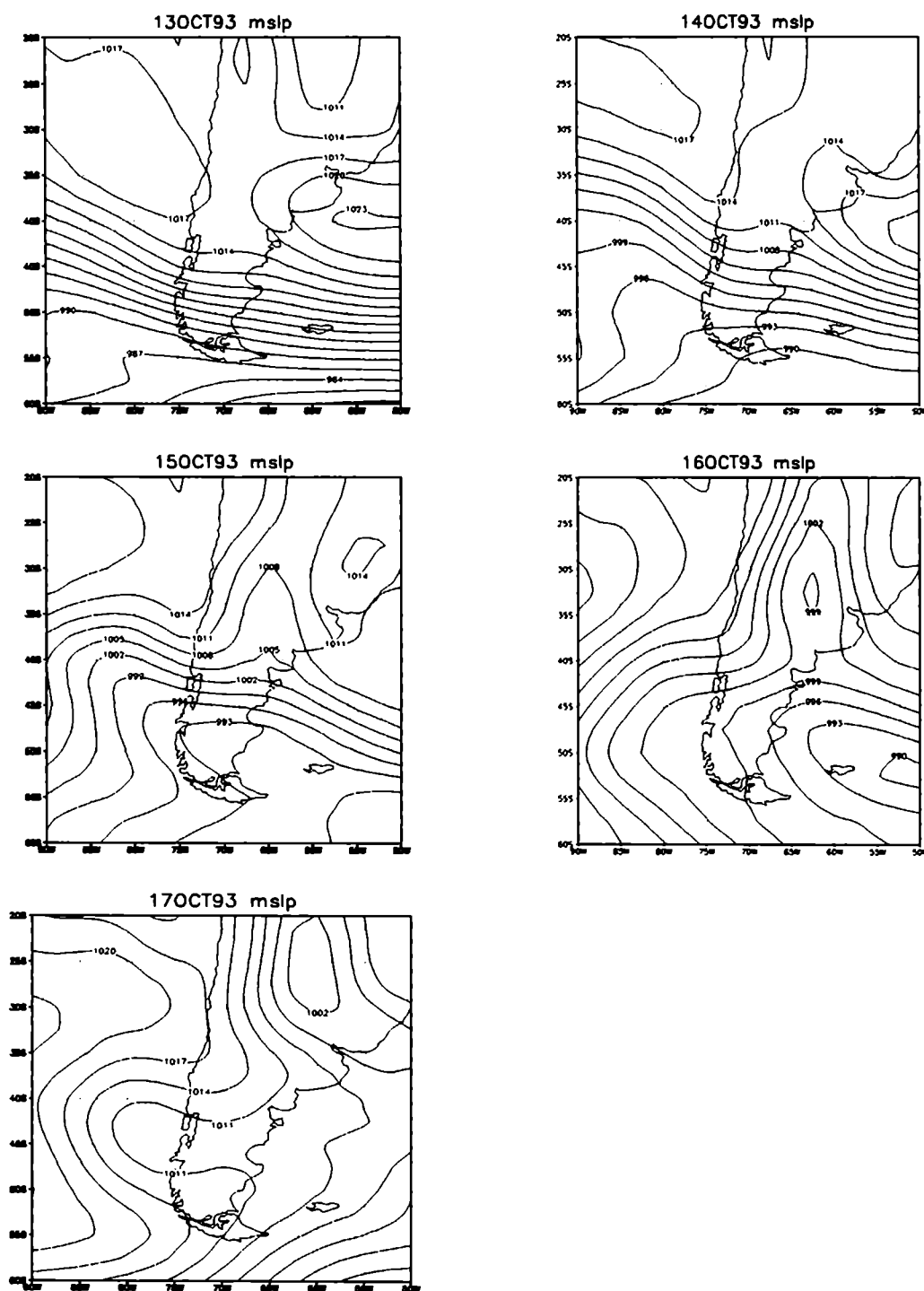


Fig. 7.3: Campos medios diarios de presión al nivel del mar (NCEP/NCAR) en el período del 13/10/93 al 17/10/93.

En el período en que se efectuaron las mediciones en CLF (Proyecto MECIN), el

porcentaje de cobertura nubosa media se mantuvo en niveles inferiores al 40%, excepto el 14 de octubre en que se presentó abundante nubosidad y la temperatura media diaria del aire fue superior a 22°C condiciones que fueron analizadas con anterioridad.

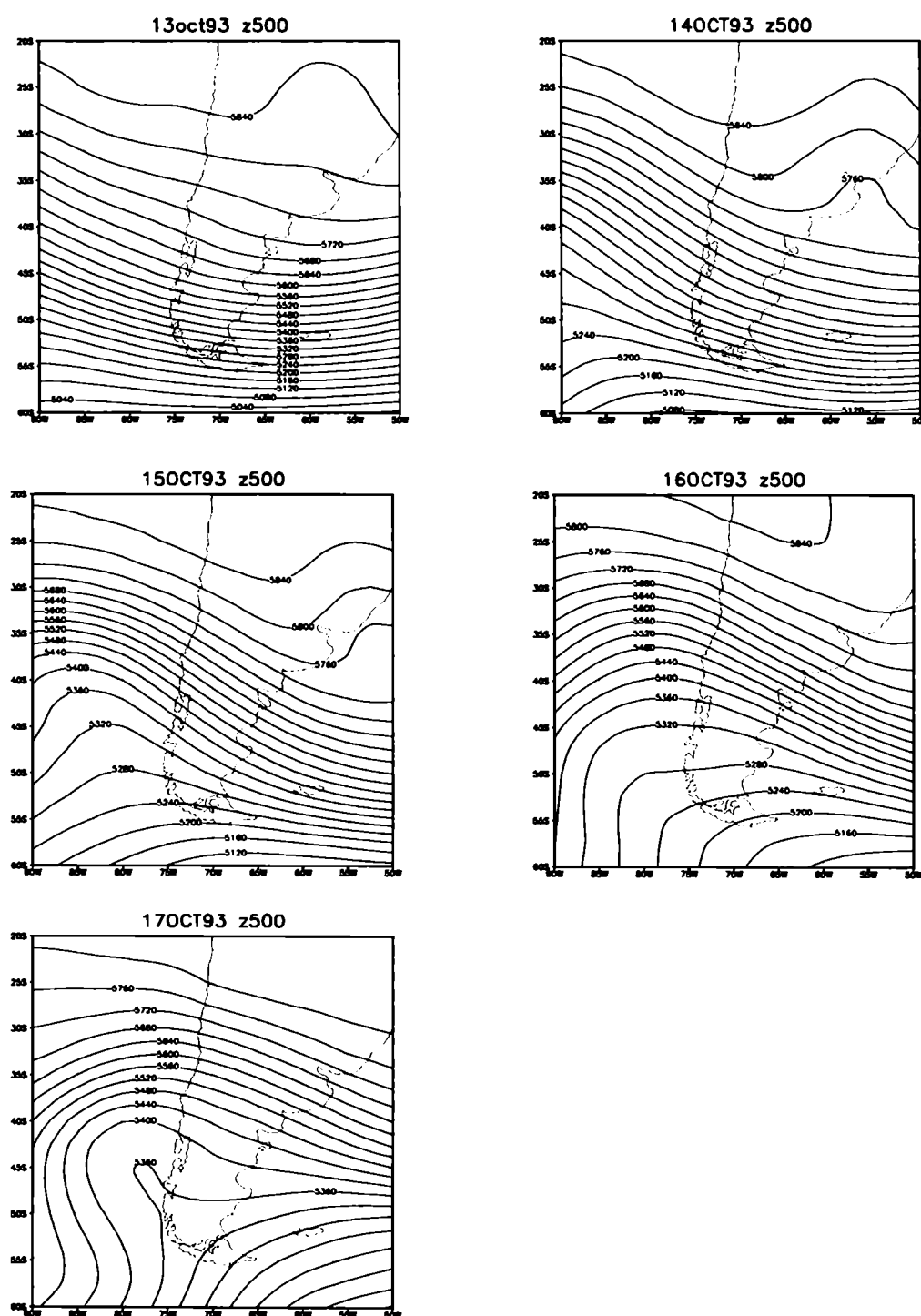


Fig.7.4: Campos medios diarios de altura geopotencial de 500 hPa (kPa) (reanálisis del NCEP/NCAR) en el período del 13/10/93 al 17/10/93.

Si bien el porcentaje de cobertura nubosa total media diaria no siempre se mantuvo en valores bajos, la elección de los días con mediciones se hizo en función de las condiciones nocturnas.

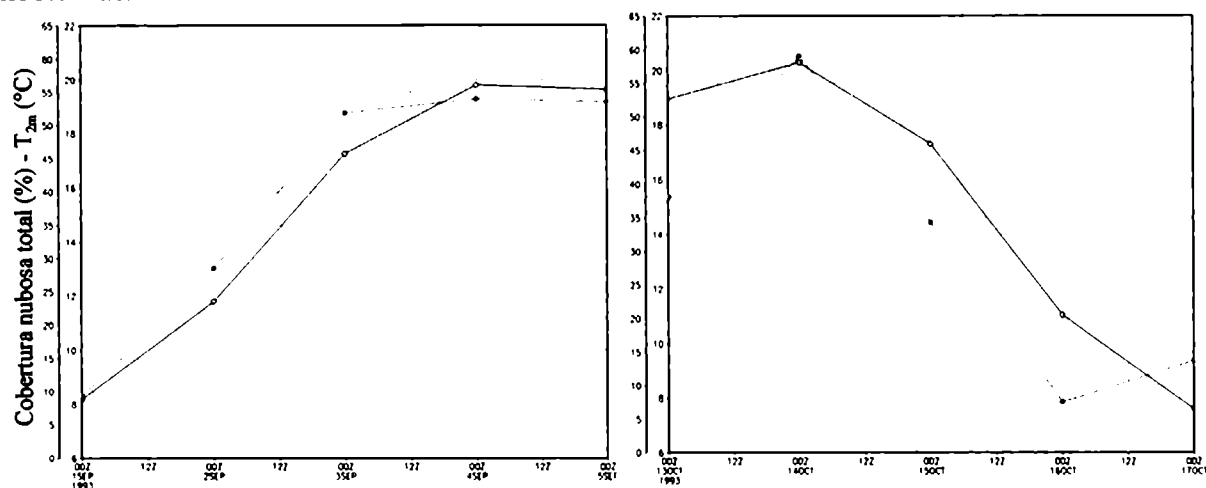


Fig. 7.5: Cobertura nubosa total media (%) (—●—) y temperatura media a 2 m de altura (—○—) según datos del reanálisis NCEP/NCAR del período en los periodos 1/9/93-5/9/93 y 13/10/93-17/10/93.

Escobar y otros (1996) estudiaron las situaciones sinópticas asociadas a campos medios de altura geopotencial de 1000 hPa y 500 hPa en condiciones en las que se registraban heladas en Neuquén Aero por medio de un análisis por componentes principales entre 1980 y 1986. En el 33.3% de los casos las situaciones correspondían a anticiclones postfrontales con ejes en 45 °S, el 33.3% de los casos las situaciones con anticiclones postfrontales con ejes en 30 °S y el 22% estaba representado por una banda anticiclónica en el centro del país.

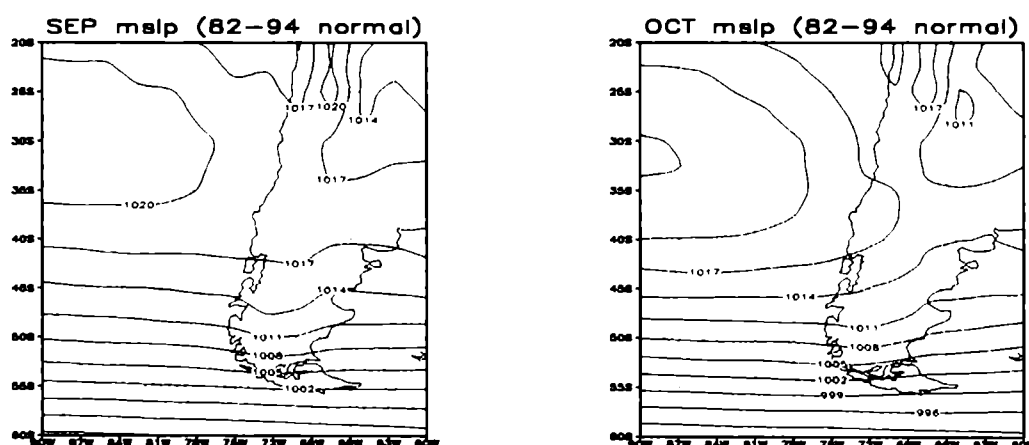


Fig. 7.6: Campo medio de presión de superficie (hPa) para los meses de septiembre y octubre en el período 1982-1994.

En general, las situaciones meteorológicas correspondientes a los periodos 1 a 5 de septiembre de 1993 y 13 a 17 de octubre de 1993, tienen características aproximadamente

parecidas a las descritas por Escobar y otros (1996), que representan en el análisis realizado por esos autores un amplio porcentaje de casos con heladas.

7.3 COMPARACIÓN DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS MEDIAS A ESCALA REGIONAL CORRESPONDIENTES A SEPTIEMBRE Y OCTUBRE (1982-1994) CON LAS DE LOS AÑOS 1988, 1989 Y 1994.

Las situaciones sinópticas medias de 1000 hPa y 500 hPa en el período 1982-1994 presentan para los meses de septiembre y octubre las condiciones que se presentan en la Fig. 7.6 y Fig 7.7.

La Figura 7.8 presenta el campo medio de temperatura del aire a 2 m de altura (reanálisis NCEP/NCAR) para los meses de septiembre y octubre en el período comprendido entre 1982 y 1994.

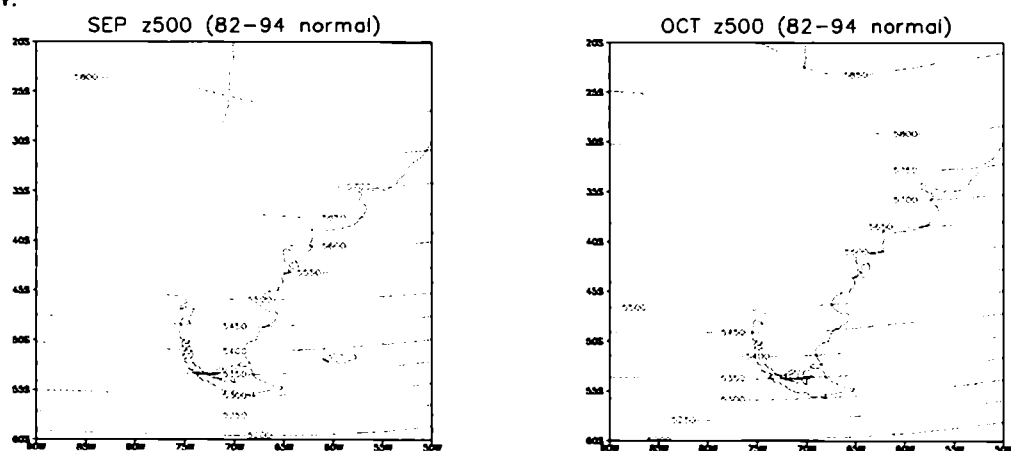


Fig. 7.7: Campo medio altura geopotencial (mgp) en 500 hPa para los meses de septiembre y octubre en el período 1982-1994.

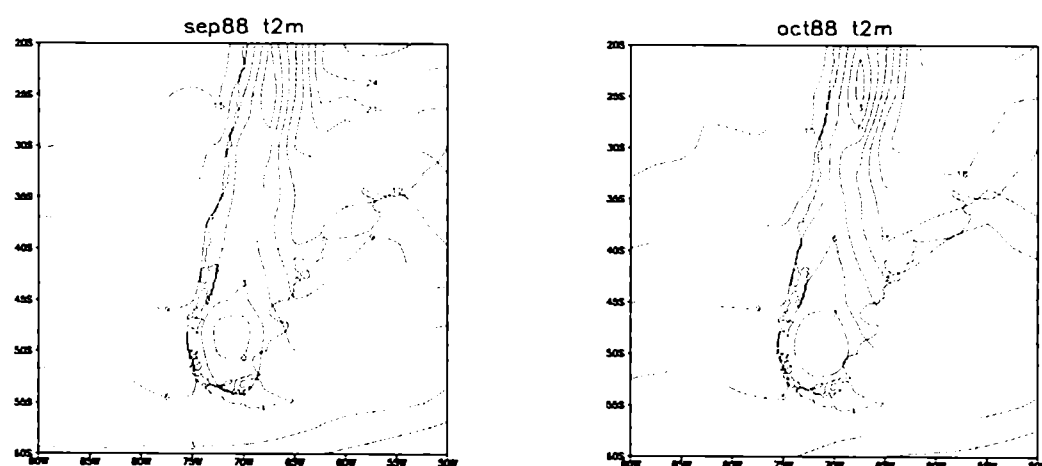


Fig. 7.8: Temperatura media mensual (°C) a 2 m de altura para los meses de septiembre (izquierda) y octubre (derecha) del periodo 1982-1994.

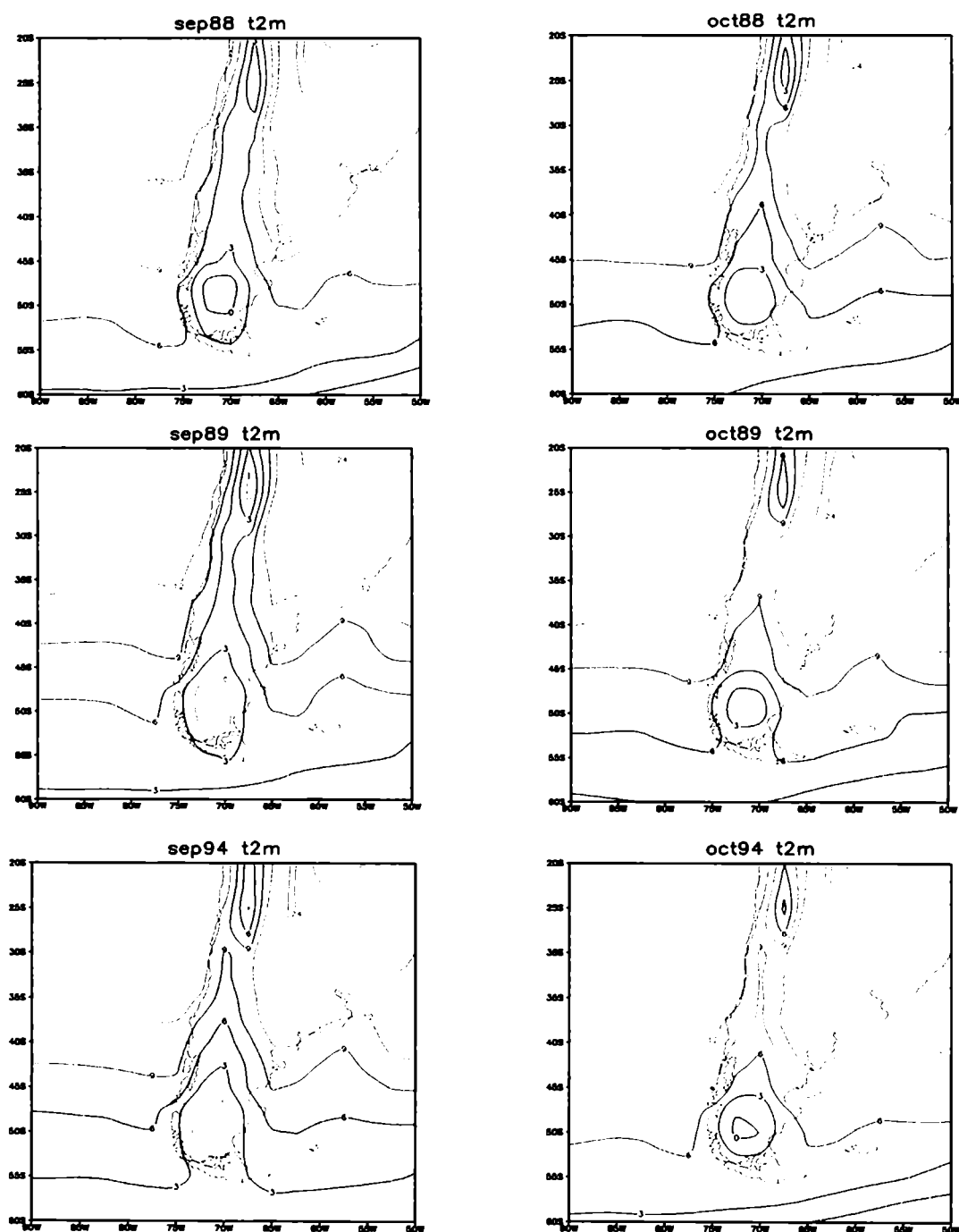


Fig. 7.9: Temperatura del aire media mensual (°C) a 2 m de altura según datos del NCEP/NCAR para los meses de septiembre (izquierda) y octubre (derecha) de los años 1988, 1989 y 1994.

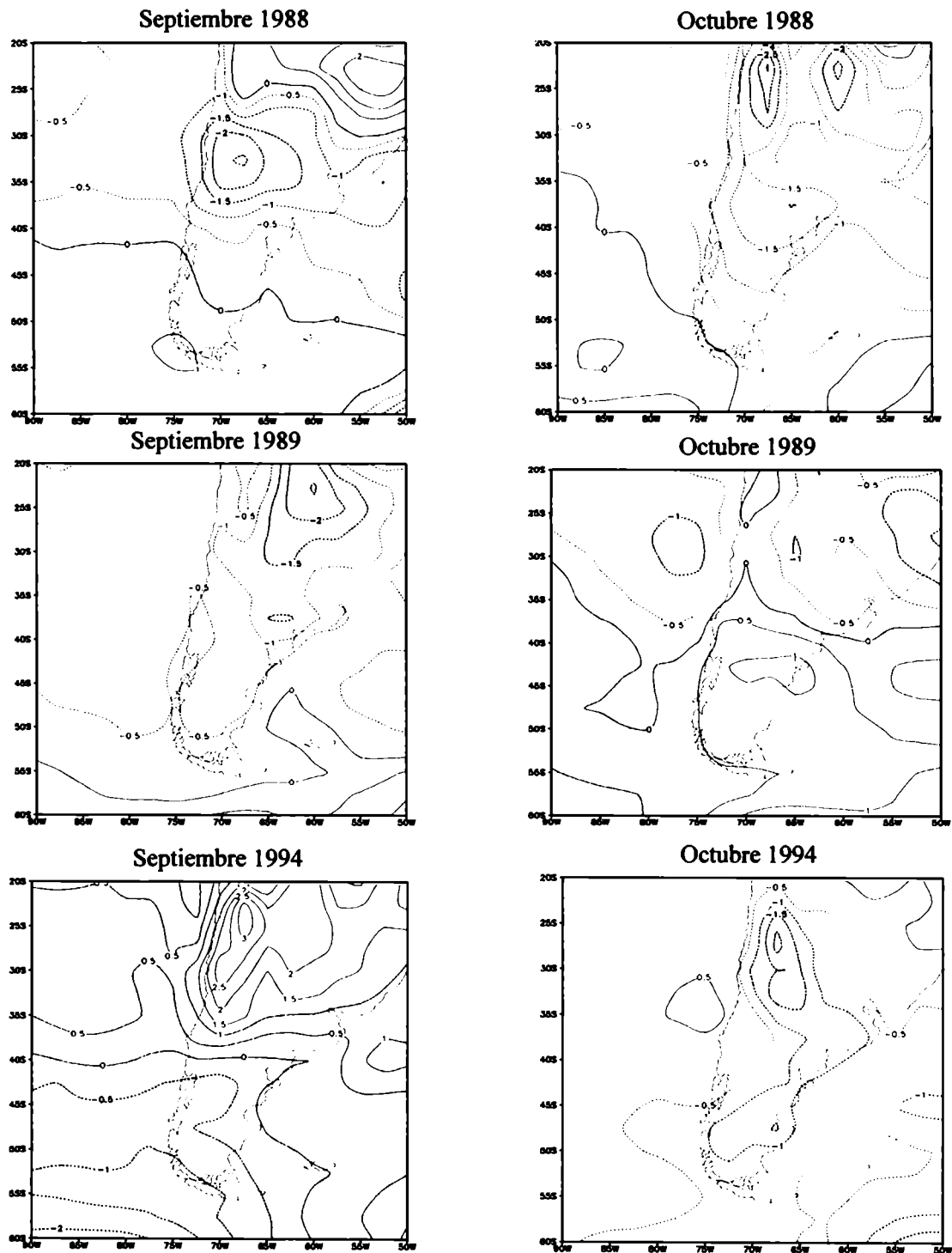


Fig. 7.10: Anomalías del campo de temperatura (°C) a 2 m en los meses de septiembre y octubre de 1988, 1989 y 1994 con respecto al campo medio en el período 1982-1994.

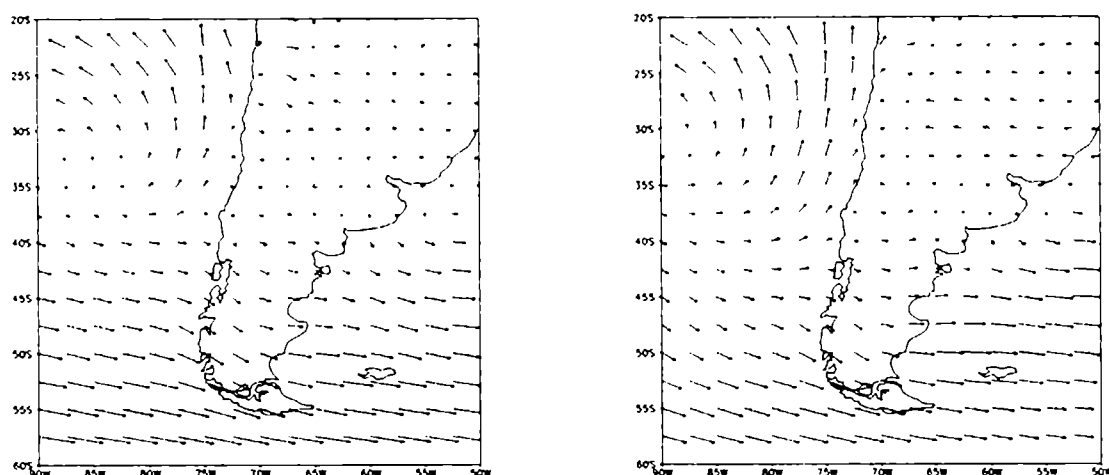


Fig. 7.11: Viento medio a 10 m de altura para septiembre (izquierda) y octubre (derecha) en el período 1982-1994.

El campo medio de temperatura del aire a 2 m de altura para septiembre y octubre presenta menores valores en 48° S de latitud, observándose un mínimo de temperatura media en la provincia de Santa Cruz y otro núcleo paralelo a la Cordillera de los Andes en el NW argentino. En el NE argentino y hasta el sur de la Provincia de Buenos Aires se presentan valores máximos de temperatura media mensual.

La temperatura media mensual en NG (39 °S 68 °W) en septiembre en el período 1982-1994 fue 8.2°C y en octubre 11.8°C. En los meses de septiembre y octubre de 1988 los valores medios de temperatura del aire en Neuquén Aero (NA) fueron $T_{\text{set}}=11.5^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{oct}}=14.4^{\circ}\text{C}$ y en 1989, $T_{\text{set}}=11.3^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{oct}}=16.9^{\circ}\text{C}$. Estos valores son mayores al valor medio 1982-1994.

La Figura 7.9 presenta las isotermas medias mensuales de los meses de septiembre y octubre de los años 1988, 1989 y 1994. En líneas generales, se puede notar que la distribución mensual es similar. Las temperaturas en octubre son 3°C mayores en NG y las temperaturas medias menores se presentan en latitudes más cercanas al Ecuador en septiembre.

La Figura 7.10 presenta las anomalías de la temperatura media del aire a 2 m de altura con respecto a los promedios obtenidos a partir de los datos correspondientes al período 1982 - 1994. Se observa en todos los casos analizados una zona con anomalías negativas de temperatura en el NW del país y anomalías positivas en la zona de la Provincia de Santa Cruz. Septiembre de 1994 presenta un caso diferente con anomalías positivas en el norte del país. La zona del Alto Valle presenta anomalías menores a $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ en todos los casos excepto en octubre de 1988.

La Figura 7.11 presenta los campos horizontales mensuales del viento medio a 10 m de altura en septiembre y en octubre para el período 1982-1994. En ambos meses, se observan configuraciones de flujo similares. Se manifiesta la presencia del anticiclón del Pacífico al oeste de la zona estudiada y la predominancia de viento zonal del Noroeste en septiembre y del Oeste en octubre. Se observa, además que la región se encuentra situada dentro de una importante

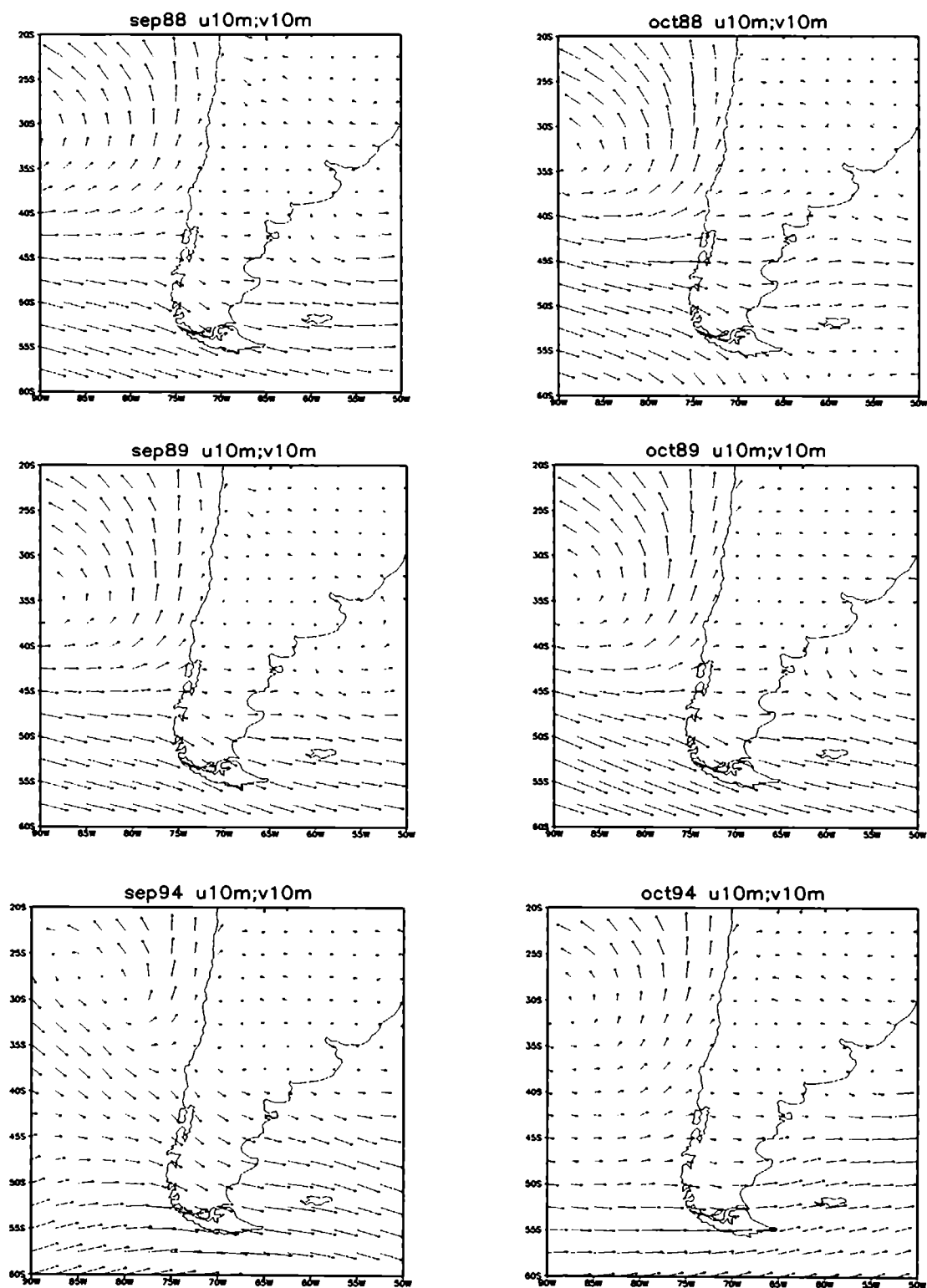


Fig.7.12: Viento medio mensual a 10 m de altura para los meses de septiembre (izquierda) y octubre (derecha) en 1988, 1989, y 1994 (de arriba hacia abajo).

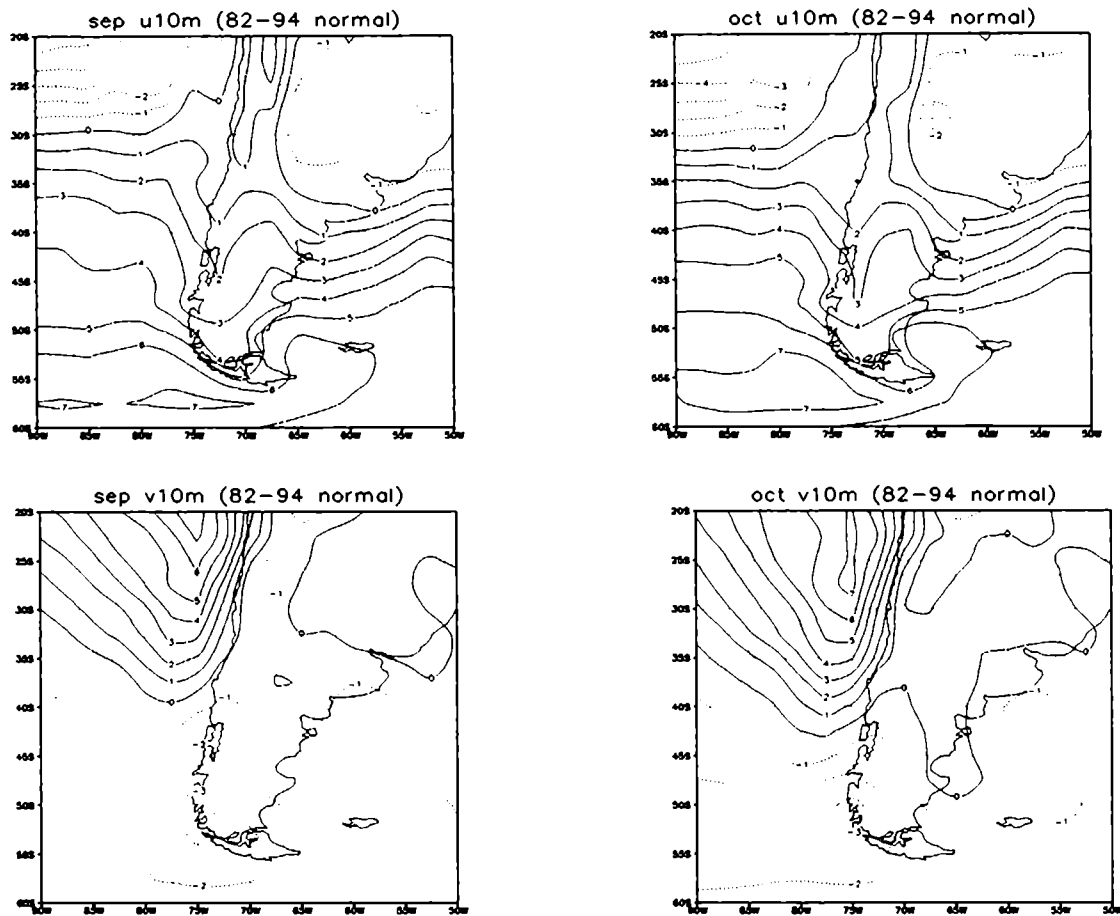


Fig.7.13: Componentes medias u y v de la velocidad del viento (m/s) en el período 1982-1994.

variación meridional de la intensidad del viento y que al norte de la misma, las velocidades medias son bajas, mientras que al Sur se muestra un notable incremento de los vientos del Oeste.

La Figura 7.12 presenta el detalle de los campos medios mensuales del viento para cada uno de los años en que se efectuaron las mediciones. En los campos medios mensuales de los años 1988 y 1989, el viento a 10 m de altura se mantuvo proveniente del W sobre la región de los valles. En septiembre de 1994, el viento medio fue del WNW cambiando al W en octubre. En octubre de 1988, el viento medio presentó una mayor intensidad sobre la región. Este comportamiento presenta concordancia con los valores medios hallados en NA ($\bar{V}_{\text{sep}}=3.5$ m/s y $\bar{V}_{\text{oct}}=4.2$ m/s en 1988 y $\bar{V}_{\text{sep}}=2.8$ m/s y $\bar{V}_{\text{oct}}=4.1$ m/s en 1989).

La Figura 7.13 presenta los campos medios de las componentes u y v de la velocidad del viento a 10 m de altura en el período 1982-1994. La componente u de la velocidad del viento en NG aumenta su valor de septiembre a octubre. Este análisis presenta coincidencia con lo incluido en la Figura 7.12, debido al hecho de que el viento medio en la región tiene dirección Oeste.

Las mayores anomalías medias positivas se presentan en la componente u. La componente v presenta anomalías nulas. Estos dos efectos indicarían que, en el período 1982-1994 la dirección del viento medio estuvo más alineada con la dirección W y la intensidad del viento medio es representada en su mayor parte por la componente u (Fig. 7.13).

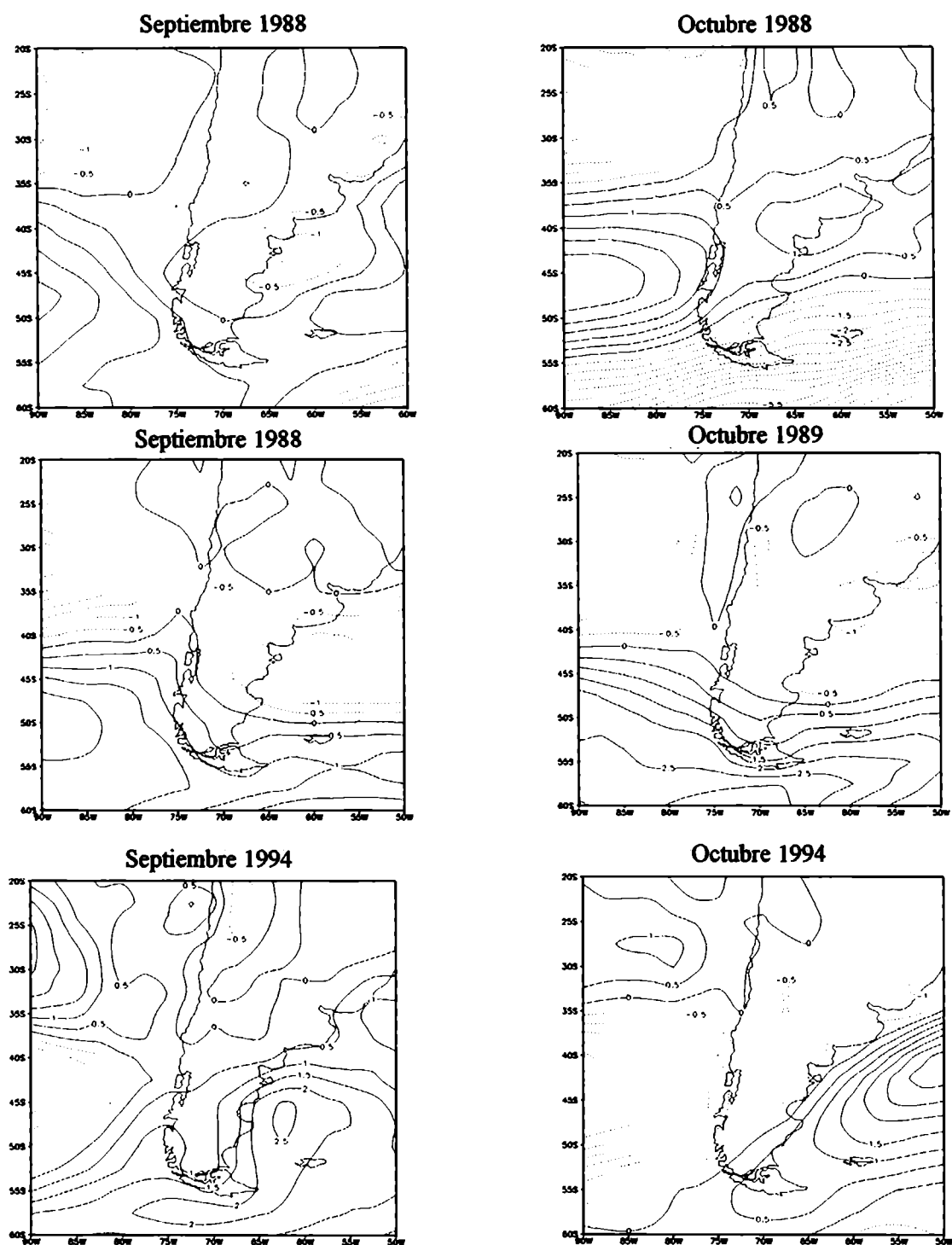


Fig. 7.14: Anomalías medias mensuales de la componente u del viento a 10 m de altura con respecto al valor medio del período 1982-1994, en septiembre y octubre de 1988, 1989 y 1994.

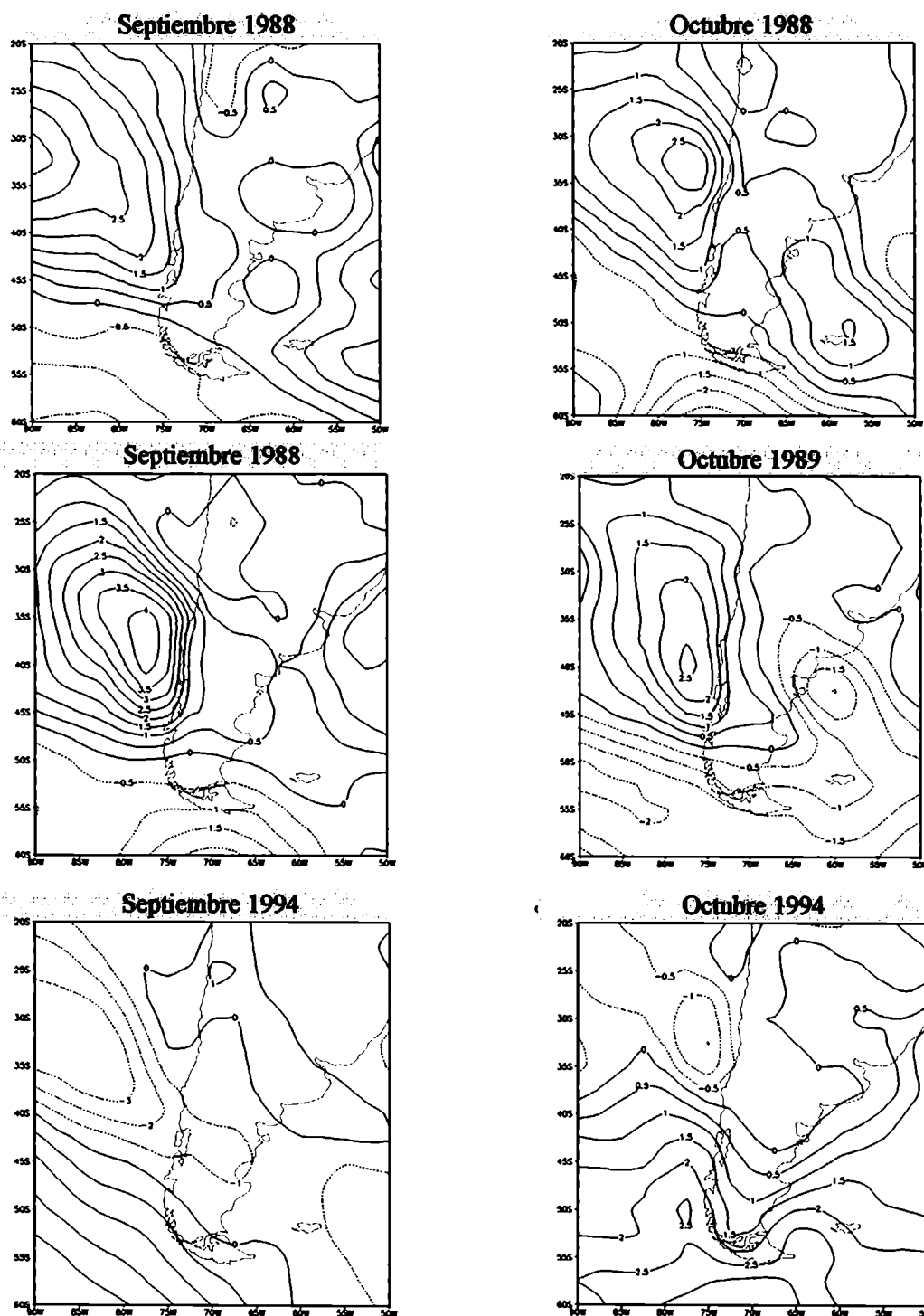


Fig. 7.15: ídem Figura 7.14 para la componente v del viento a 10 m de altura.

La componente u presentó en NG anomalías negativas la mayoría de los casos analizados excepto en octubre de 1988.

La componente v del viento medio a 10 m de altura (ver Figura 7.15) al contrario presentó

anomalías positivas en la mayoría de los periodos a excepción de octubre de 1994.

RESUMEN

Las situaciones sinópticas medias diarias de los días 1 al 5 de septiembre de 1993 presentaron características propicias para la ocurrencia de heladas con máximos de presión en superficie y subsidencia en la troposfera baja. El período entre el 13 y el 17 de octubre, presentó situaciones más variadas. El 14 de octubre en el período diurno se presentaron características de un caso leve de viento zonda.

La situación sinóptica media cerca del suelo en septiembre y octubre tienen las siguientes características:

El viento medio diario durante la mayoría de los días estudiados fue del W.

La cobertura nubosa media diaria total fue mínima los días 1 y 5 de septiembre y 16 de octubre y se mantuvo en niveles inferiores al 40% en los dos periodos analizados excepto el 14 de octubre en que se presentó abundante nubosidad y la temperatura media diaria del aire fue superior a 22°C asociado a la ocurrencia de un efecto zonda.

Si bien el porcentaje de cobertura nubosa total media diaria no siempre se mantuvo en valores bajos, la elección de los días con mediciones se hizo en función de las condiciones nocturnas.

El campo medio de temperatura del aire a 2 m de altura (NCEP/NCAR) para septiembre y octubre en el período 1982-1994 presenta menores valores en 48° S y otro núcleo paralelo a la Cordillera de los Andes en el NW argentino. Los mayores valores de temperatura media se presentan en el NE argentino y hasta el sur de la Provincia de Buenos Aires.

Los campos medios mensuales de temperatura para los meses de septiembre y octubre de los años 1988, 1989 y 1994 presentan en general, una distribución mensual similar. Las temperaturas en octubre son 3°C mayores en NG y las menores temperaturas media se presentan en menores latitudes en septiembre.

Las anomalías de la temperatura media del aire a 2 m de altura con respecto a los promedios calculados a partir de los datos correspondientes al período 1982 - 1994 presentan en la zona del Alto Valle anomalías menores a ± 1.5 °C en todos los casos.

Los campos medios mensuales del viento medio a 10 m de altura en septiembre y en octubre para el período 1982-1994 presentan configuraciones de flujo similares en la zona en estudio. El anticiclón del Pacífico se encuentra al oeste de la zona estudiada y se observa viento del Noroeste en septiembre y del Oeste en octubre.

Los campos medios mensuales del viento a 10 m de altura de los años 1988 y 1989 presentan viento del W sobre la región de los valles. En septiembre de 1994 el viento medio fue del WNW cambiando al W en octubre. En octubre de 1988 el viento medio presentó una mayor intensidad sobre la región. Este comportamiento presenta concordancia con los valores medios hallados en Neuquén Aero.

Los campos medios de las componentes u y v de la velocidad del viento a 10 m de altura muestran mayores valores para la componente u que para la componente v en los dos meses, y el valor de u aumenta de septiembre a octubre. Las anomalías mensuales con respecto al período 1982-1994 de las componentes u y v de la velocidad media del viento a 10 m de altura presentan anomalías negativas y la componente v anomalías positivas en la mayoría de los casos analizados en NG.

8. ANÁLISIS DEL VIENTO EN LOS VALLES DE LOS RÍOS NEUQUÉN, LIMAY Y NEGRO

8.1 ANTECEDENTES

Los valles constituyen zonas que por sus características, favorecen el asentamiento de poblaciones y emprendimientos productivos agrícolas. Por esa razón se han realizado estudios acerca del flujo en el interior de los mismos.

Doran y Horst (1983) analizaron mediciones de los vientos nocturnos en pendientes en Rattlesnake Mountain (EEUU). Se obtuvieron las características de la temperatura y del viento en la capa donde ocurren los vientos catabáticos. El desarrollo de vientos pendiente abajo pudo ser determinado a partir de las mediciones realizadas en torres y mostró un refuerzo progresivo de la capa catabática.

Whiteman y Doran (1993) estudiaron la relación entre los vientos sobre y dentro del valle de Tennessee (EEUU) a partir de su climatología y por medio de un modelo numérico atmosférico. La dirección del viento en el valle mostró una fuerte dependencia de la componente del gradiente de presión en escala sinóptica, con aire fluyendo a lo largo del eje del valle desde las altas a las bajas presiones. Los resultados obtenidos identificaron la canalización del aire debida al gradiente de presión, el transporte vertical hacia el suelo de cantidad de movimiento y el forzante térmico como los mecanismos predominantes en la determinación de la dirección del viento en el valle.

Doran y Zhong (1994) efectuaron un análisis de los flujos de drenaje regionales en Pacific Northwest (EEUU) con datos obtenidos de una red de observaciones de superficie y una serie de simulaciones con un modelo de mesoescala. Las formas características del flujo son producidas por forzantes anabáticos y catabáticos, la canalización del terreno y la rotación debida a la fuerza de Coriolis.

Guardans y Palomino (1995) analizaron datos meteorológicos horarios observados en siete torres ubicadas en el valle de Montesina (Córdoba, España). Se describió el comportamiento del campo del viento local en el valle en función de distintas situaciones sinópticas.

Whiteman y otros (1996) evaluaron las ecuaciones de balance de masa, calor y humedad para un volumen de control en la Cuenca de Sinbad en Colorado (EEUU). En contraste con estudios previos efectuados en valles con buen drenaje, se mantuvo un importante enfriamiento nocturno. Se atribuyó dicho enfriamiento a la divergencia de flujo de calor sensible y en menor medida a divergencia de flujo radiativo. Los autores sugieren una comparación de las características de cuencas y valles a partir de la ecuación de balance de calor.

Eckman (1998) estudió el comportamiento del viento en el interior del valle de Tennessee (EEUU) utilizando mediciones efectuadas en torres y simulaciones numéricas. Durante la noche, detectó una canalización del aire concentrada a sotavento del valle debida a gradientes de presión causados por desbalances geostróficos. Durante la tarde, este fenómeno fue significativamente más débil. En la parte inferior del valle, los vientos diurnos fueron paralelos al eje del valle. El autor sugiere que los vientos debidos a forzantes térmicos no fueron dominantes aunque se detectaron vientos diurnos valle arriba y vientos nocturnos valle abajo. Los resultados de simulaciones

numéricas para condiciones típicas de verano e invierno sugirieron que las variaciones estacionales no afectaron significativamente la canalización del viento.

Wekker y otros (1998) realizaron simulaciones numéricas con un modelo bidimensional de mesoescala no hidrostático para investigar la variación diurna de la temperatura en una cuenca y los vientos debidos a forzantes térmicos entre la meseta y la depresión. Encontraron que en el anochecer se desarrolla un flujo debido al forzante térmico desde la meseta hacia la cuenca. El factor crítico fue el gradiente horizontal de temperatura creado por el calentamiento diurno que fue mayor sobre la topografía de la cuenca que sobre la zona llana.

Generalmente, se reconocen dos clasificaciones de vientos diurnos en zonas de valles o montañas: *Vientos de pendiente* que son paralelos a la inclinación de las pendientes y pueden observarse cuesta arriba y cuesta abajo. Estos vientos, son producidos por fuerzas de empuje, inducidas por diferencias de temperatura entre el aire adyacente a la pendiente y el aire ambiental, fuera de la capa límite influenciada por la pendiente (Whiteman, 1990) y *vientos de valle* (ver Capítulo 6). Estos vientos, en general, tienen direcciones valle arriba durante el día y valle abajo durante la noche (Whiteman, 1990).

Los vientos debidos exclusivamente a efectos térmicos son difíciles de estudiar, debido a que son influenciados por otros sistemas de viento que se desarrollan en distintas escalas, por gradientes regionales de presión superpuestos a la topografía, por efectos mecánicos inducidos por la topografía así como por sistemas de viento de escalas mayores.

Los vientos de valles, soplan paralelos al eje longitudinal del valle. Estos vientos, son producidos por gradientes horizontales de presión que se desarrollan como resultado de las diferencias de temperatura que se forman a lo largo del eje del valle o por diferencias de temperatura entre el aire dentro del valle y el aire a la misma altura sobre la meseta adyacente. (Ver Capítulo 6)

Wagner (1932, 1938) explicó los sistemas de viento a lo largo de los valles como el resultado de un gran rango de temperaturas en una columna vertical de aire dentro del valle mayor que el de una columna similar con su base a la misma altura fuera del valle. Los diferentes rangos de temperatura diurna, producen un gradiente de presión que fluctúa durante el día y que gobierna el sistema de vientos del valle.

Nickus y Vergeiner (1984) estudiaron la marcha diurna de los gradientes horizontales de presión entre una estación en el valle (Innsbruck, Alemania) y la meseta adyacente (Munich, Alemania), como una función de la estación del año en días despejados. Encontraron que la variación diurna de los gradientes de presión valle-meseta en todas las estaciones seguían el mismo patrón excepto en invierno, con gradientes de presión que de acuerdo a la teoría, explicaban vientos valle arriba durante el día y valle abajo durante la noche.

8.2 FLUJO DEL AIRE EN EL INTERIOR DE LOS VALLES

Los valles son lugares donde las características del flujo y la temperatura del aire presentan determinadas características climáticas locales, según sus características particulares (forma, profundidad, etc.).

Whiteman y Doran (1993) sugieren algunos tipos de configuraciones que conducen a una canalización del viento en un valle lineal:

- *Forzante térmico*. Conducción del aire influida por el ciclo diurno de los flujos debidos al calentamiento diferencial de la superficie del suelo. De acuerdo con este mecanismo, los vientos

en el interior del valle no dependen de la dirección de los vientos sobre la meseta, sino que son generados por gradientes de presión a lo largo del valle. Estas diferencias de presión son producidas hidrostáticamente por diferencias de temperatura que se establecen a lo largo del valle (Whiteman, 1990). Estos efectos se presentan generalmente cuando los vientos sobre el valle son débiles.

- *Transporte de cantidad de movimiento horizontal hacia la superficie desde el flujo desarrollado sobre el valle.* Esto produce direcciones de viento dentro del valle similares a las que se presentan por encima de él. Este transporte de cantidad de movimiento puede ser causado por mezcla turbulenta o por ondas de gravedad. Este efecto puede ocurrir en condiciones de estratificación estable o neutral en valles anchos con paredes bajas (Lässig, 1995). Durante noches con ocurrencia de heladas, se pueden apreciar irrupciones de aire más caliente que provocan un aumento local de la temperatura en algunas partes de los valles. Lässig (1995) menciona que el Alto Valle presenta un obstáculo tipo escalón, por lo que se puede asumir que en el fondo del valle hay una capa de aire frío, quieto y denso y sobre ella, se desplaza otra capa más caliente con velocidad U . Por ello puede suponerse un modelo de dos capas y la generación de ondas del tipo de Kelvin-Helmholtz que en determinadas circunstancias se inestabilizan y provocan mezcla del aire en el interior del valle.

- *Las paredes del valle actúan sobre el flujo del aire.* El flujo del aire por encima del valle se encuentra en equilibrio geostrófico. La intensidad y dirección del viento en el interior del valle dependen del signo y la magnitud de la componente del viento a lo largo del eje del valle. La componente del viento perpendicular a las *paredes* del valle es reducida significativamente por la presencia de los bordes, aumentando la frecuencia de los vientos paralelos al valle, pero con cambios súbitos en su dirección, cuando el viento geostrófico rota hacia una dirección perpendicular al eje del valle (Whiteman, 1990).

- *Direccionamiento del flujo por acción del gradiente de presión.* Este mecanismo fue sugerido por Fiedler (1983). La componente de la fuerza originada por el gradiente de presión a lo largo del valle será nula solamente cuando el viento geostrófico esté en la dirección del eje del valle. Una característica de este tipo de efecto es que los vientos en el interior del valle pueden tener sentido contrario a la componente del viento geostrófico a lo largo del valle.

Otro tipo de circulaciones que tienen influencia sobre el flujo de aire en el valle son:

- *Drenaje catabático:* Con este término se incluye al aire cercano al suelo presente en superficies inclinadas que al enfriarse aumenta su peso y se desplaza hacia una posición de equilibrio en las zonas más bajas. Lässig (1995) indica que el drenaje catabático no es importante en la mayor parte del Alto Valle debido a que si bien la pendiente es abrupta, su forma es de tipo escalón y la superficie de la ladera no es importante.

- *Ondas originadas por obstáculos:* Lässig (1995) explica el rol de la onda por obstáculo que se presenta en los casos de vientos en una dirección transversal al valle. Este tipo de ondas es estacionario y dado que en las noches con heladas el viento sobre el valle es más cálido que el aire en su interior, se establece un gradiente horizontal de temperatura con mayores valores de temperatura del aire en la zona central del valle y menores valores en las zonas linderas a los

bordes (Holton, 1979).

- *Ondas de gravedad*: Lässig (1995) describe al Alto Valle como un obstáculo tipo escalón y asume que en el fondo del valle se encuentra aire quieto y denso (frío) y en niveles superiores, se encuentra aire más caliente en movimiento a una velocidad U , configurando un modelo de dos capas, que podría generar ondas del tipo Kelvin-Helmholtz (K-H) (Holton, 1979). El efecto de este tipo de ondas sería romper la estratificación y podrían detectarse durante la madrugada, en forma de brisas cálidas.

8.3 DISTRIBUCIONES DIURNAS Y NOCTURNAS DEL VIENTO EN LOS VALLES:

El objetivo de esta sección es verificar la existencia de vientos locales, producidos por las características de los valles (ver Sección 8.2) utilizando la información de viento disponible a intervalos de 1 hora, 15 minutos y 1 minuto en distintos puntos en el interior de los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro.

8.3.1 Distribuciones diurnas y nocturnas de la intensidad del viento en NA

Se realizó el análisis del comportamiento del viento durante el día y la noche para determinar si se discriminan sentidos valle arriba o valle abajo característicos de los *vientos de valle* (Whiteman, 1990). Se dividieron los datos horarios de septiembre y octubre de 1988 y 1989 correspondientes a periodos diurnos y nocturnos, considerando como periodo diurno al comprendido entre las 08:00 h y las 20:00 h y como periodo nocturno al que abarca entre las 20:00 h de un día y las 08:00 h. del día siguiente.

La intensidad del viento presenta valores mayores durante el día ($\bar{V} = 4.06$ m/s en 1988, $\bar{V} = 4.01$ m/s en 1989) y menores valores ($\bar{V} = 2.41$ m/s en 1988, $\bar{V} = 2.70$ m/s en 1989) durante la noche.

8.3.2 Distribuciones diurnas y nocturnas del viento en NA, CB, CVS, C52 y CLF

La distribución de direcciones de viento en NA presenta mayores valores en las direcciones WNW, WSW y ESE durante el día y WSW y ESE-NE, durante la noche. La dirección del eje del valle del río Limay en NA es W-E, pero la estación NA se encuentra a pocos kilómetros de la intersección con el valle del río Negro, que presenta su eje con dirección WNW-ESE (ver Figura 3.1 y Figura 8.2). Los valores obtenidos sugieren que en los casos en que se presenta viento del sector E, la mayor frecuencia es del ESE, siguiendo la topografía del valle del río Negro. En NA se nota una mayor frecuencia de las direcciones del viento en el sentido valle abajo, tanto durante el día como durante la noche. En el periodo nocturno ocurre una disminución de las frecuencias de direcciones valle abajo, aunque no se manifiesta un aumento de la frecuencia de direcciones valle arriba durante el día.

La Figura 8.1 presenta las distribuciones de frecuencias de direcciones de viento diurnas y nocturnas en CLF y CBS en el valle del río Neuquén, en CVS y NA en el valle del río Limay y en C52 en el valle del río Negro. Se utilizaron datos horarios en NA, a intervalos de 15 min en CBS, CVS y C52 y a intervalos de 1 minuto en CLF y C52, (en las estaciones donde se obtuvieron

datos en años distintos, se identifica las distribuciones con colores distintos). En CVS, en el valle del río Limay, predominan las direcciones W-ESE, alineadas con el valle del río Negro como en el caso de NA. No se observa en CVS una variación diurna marcada.

En C52 no se nota el predominio de una dirección particular, pero en las dos muestras analizadas un porcentaje importante se debe a las calmas (19.5% durante el día y 49.1% durante la noche). En C52 se presenta un mayor porcentaje de casos del WNW (valle abajo) durante el día y se observa un aumento de las frecuencias de viento en las direcciones transversales al valle durante la noche. En ambos períodos considerados, el porcentaje de calmas fue importante (49.1% entre el 1 y el 13 de octubre de 1994 y 82.4 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993 durante la noche, ver Tabla 8.i)).

La Tabla 8.i presenta los porcentajes de calmas durante el día y la noche en NA, en septiembre y octubre de 1988 y 1989, en CBS, CVS y C52 en el período entre el 1 y el 13 de octubre de 1994, en CLF entre el 13 y el 17 de octubre de 1993 y en C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993. Se puede notar que los porcentajes de calmas son mayores durante la noche. La única estación que no presentó valores significativos de calmas en el período fue CB.

En CLF las direcciones predominantes durante el día son WSW y SW y durante la noche SW. Estas direcciones son perpendiculares al eje longitudinal del valle del río Neuquén (NW-SE). Los datos corresponden a 5 días y se presentó un porcentaje de calmas del 72.7 % durante la noche y el 20.7 % durante el día (ver Tabla 8.i).

Tabla 8.i: Porcentaje y cantidad de horas de calmas durante el día y la noche en las distintas estaciones y años.

| Año | Estación | Calmas (%) | | | |
|------|----------|------------|-------|------|-------|
| | | Noche | | Día | |
| | | % | horas | % | horas |
| 1988 | NA | 8.9 | 60.0 | 0.8 | 6.0 |
| 1989 | NA | 15.4 | 112.0 | 2.7 | 20.0 |
| 1994 | CBS | 0.2 | 0.5 | 0.2 | 0.5 |
| | CVS | 5.6 | 9.0 | 0.0 | 0.0 |
| | C52 | 49.1 | 77.0 | 19.5 | 31.0 |
| 1993 | CLF | 72.7 | 44.0 | 20.7 | 13.0 |
| | C52 | 82.4 | 50.0 | 26.5 | 17.0 |

En CBS se presenta el predominio de viento de las direcciones WSW y SE durante el día, y del SE durante la noche. Debe considerarse que el valle del río Neuquén presenta su eje en la dirección NW-SE y el porcentaje de calmas en los datos estudiados es muy pequeño.

En CB el porcentaje de calmas (Noche: 0.16%; Día: 0.17%) es despreciable frente a los sectores SE (Noche: 25.2 % y Día: 24.5%) y WSW (Noche: 18.5%; Día: 12.9%), mientras que

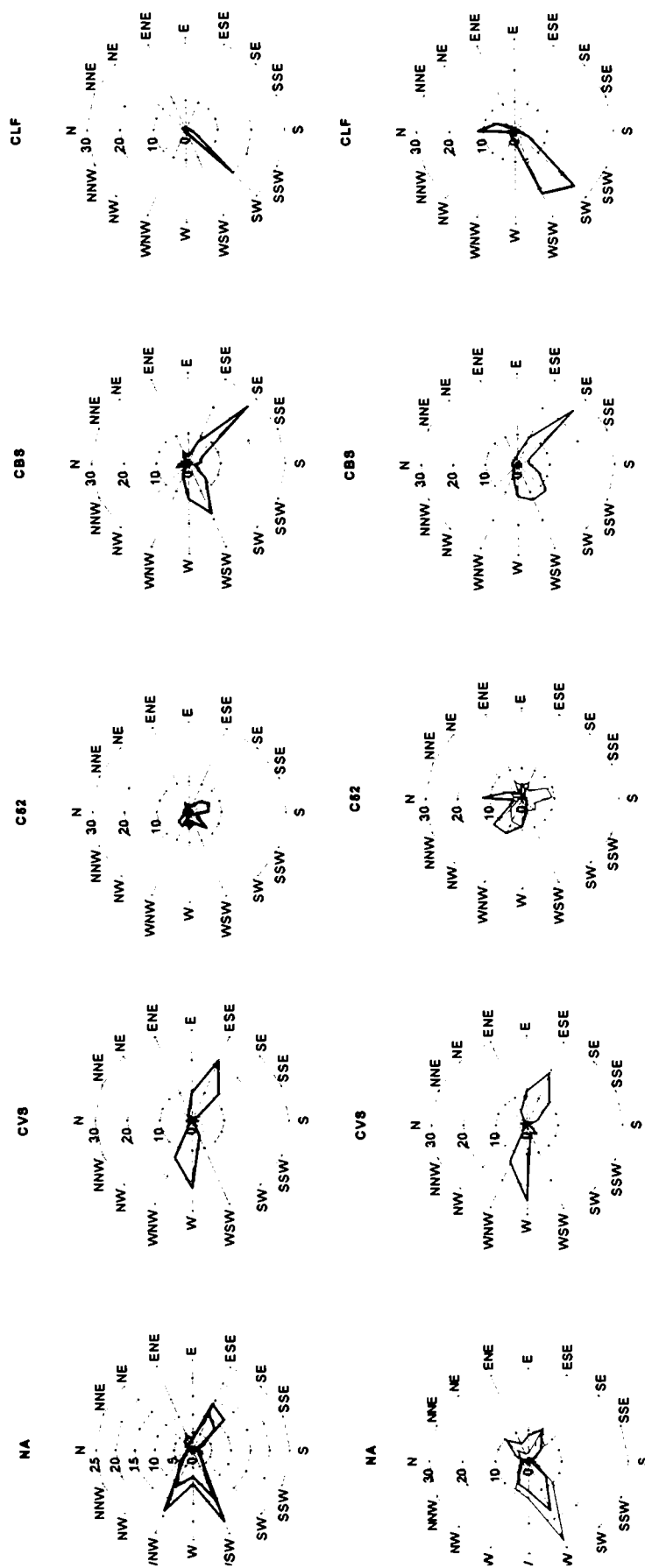
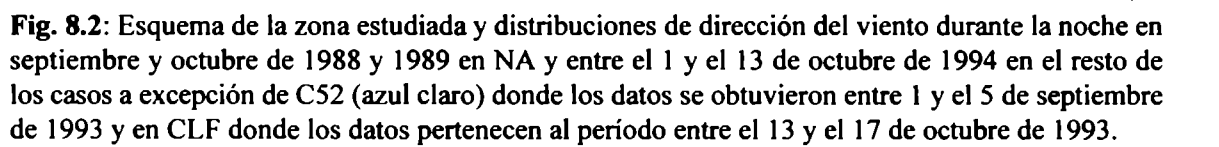


Fig. 8.1: Distribución del viento durante la noche (arriba) y el día (abajo) en NA, CVS, C52, CLF y CBS (En NA noche (—) 1988, (—) 1989, en NA día: (—) 1988 y (—) 1989, en C52 noche: azul y naranja (—) 1993, día: (—) 1994 (—) 1994 (—) 1993).



en las estaciones CVS y C52 ubicadas en el interior de los valles, el porcentaje de calmas aumenta a 5.6% y 49.15% respectivamente durante la noche (ver Tabla 8.i).

8.4 DIFERENCIA DE PRESIÓN ENTRE VALLE Y MESETA

El viento en la estación Centenario (CB) puede ser considerado como indicativo de la circulación de la atmósfera a escala regional, ya que esta estación está emplazada encima del nivel de la barda. Un análisis similar fue utilizado por Eckman (1998). Un argumento contra esta

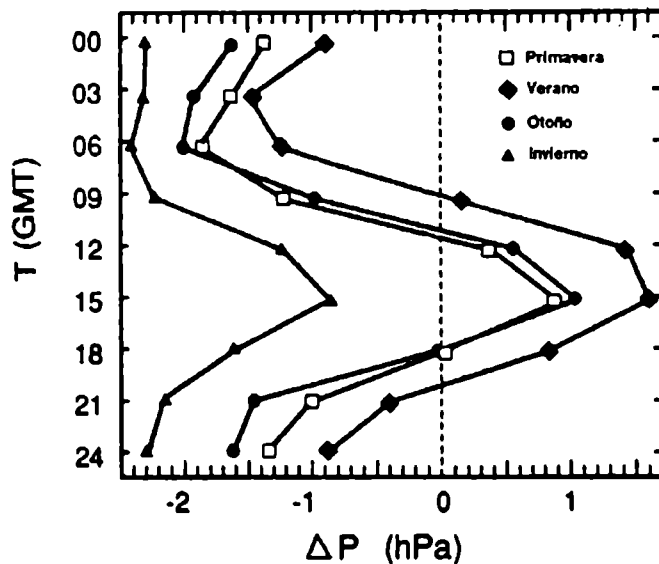


Fig. 8.4: Marcha diaria de la diferencia de presión horizontal a 550 m sobre el nivel del mar entre una estación en la meseta (Munich) y una estación en un valle profundo (Innsbruck), en días soleados (Nickus y Vergeiner, 1984).

consideración podría ser que los efectos locales del terreno enmascararían el forzante de escala sinóptica. Eckman (1998) analizó los datos de sensores ubicados en una torre y la dirección del viento en 850 hPa estimada a partir de la interpolación de un plano entre cuatro estaciones de radiosondeo, en la mayoría de los días las direcciones de viento estuvieron bien correlacionadas.

Los obstáculos y las características en el interior del valle producirían un reparo de la acción del viento que puede apreciarse en los valores de los porcentajes de calmas. En CVS y C52 ubicadas en las chacras el porcentaje de calmas alcanza valores importantes principalmente durante la noche, mientras que en CB, a 15 m sobre la meseta en terreno llano y sin obstáculos, los porcentajes son inferiores al 1 %.

Las diferencias de temperatura entre la meseta y el valle producen un gradiente de presión variable durante el día que genera el sistema de vientos de valle.

Nickus y Vergeiner (1984) encontraron una variación diurna del gradiente de presión valle-meseta en todas las estaciones, excepto en invierno, con gradiente de presión que producían vientos valle arriba durante el día y valle abajo durante la noche en concordancia con la teoría.

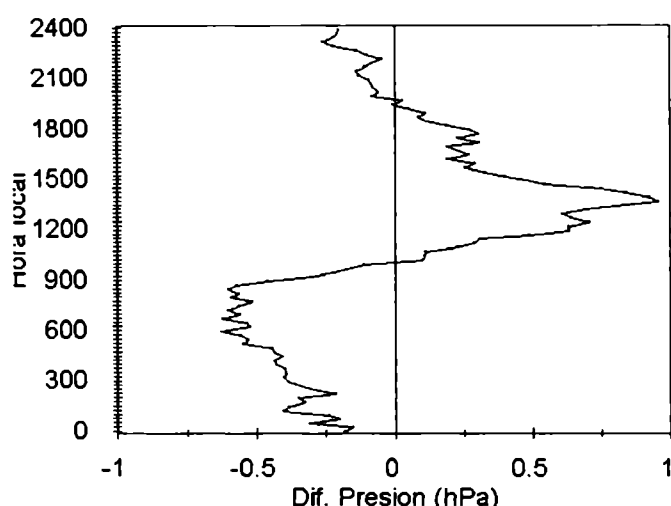


Fig. 8.5: Marcha diaria de la diferencia de presión horizontal entre la estación CB en la meseta y la estación C52 en el valle, en el período comprendido entre el 1/10/94 y el 13/10/94. (Hora GMT = HL+3)

El máximo se encontró a las 15:00 UTC en todas las estaciones del año. Los autores presentan la marcha diaria de la diferencia de presión entre el valle y la meseta en función de la época del año. La Figura 8.4 presenta la marcha diaria del gradiente horizontal de presión a 550 m de altura sobre el nivel del mar entre una estación ubicada en la meseta (Munich) y una estación situada en un valle profundo (Innsbruck) en días soleados.

La Figura 8.5 muestra una diferencia similar de presión entre la estación CB ubicada sobre la meseta en el valle del río Neuquén y C52 instalada en el valle del Río Negro entre el 1/10/94 y el 13/10/94. Se puede observar alguna concordancia cualitativa con los resultados obtenidos en Austria. Existen 58 m de desnivel entre CB y C52. La máxima diferencia de presión, ocurre a las 13:45 HOA (16:45 UTC) en el período considerado.

Las experiencias llevadas a cabo muestran que los vientos de valle son más frecuentes en días con alta presión y vientos de escala sinóptica débil. La muestra de los valles de los ríos Neuquén y Negro, no presenta diferencias en la distribución de direcciones de viento, en los casos en que la intensidad del viento fue menor a 2 m/s durante el período considerado.

Weber y Kaufmann (1998) encontraron que los flujos de gran escala tienen una fuerte

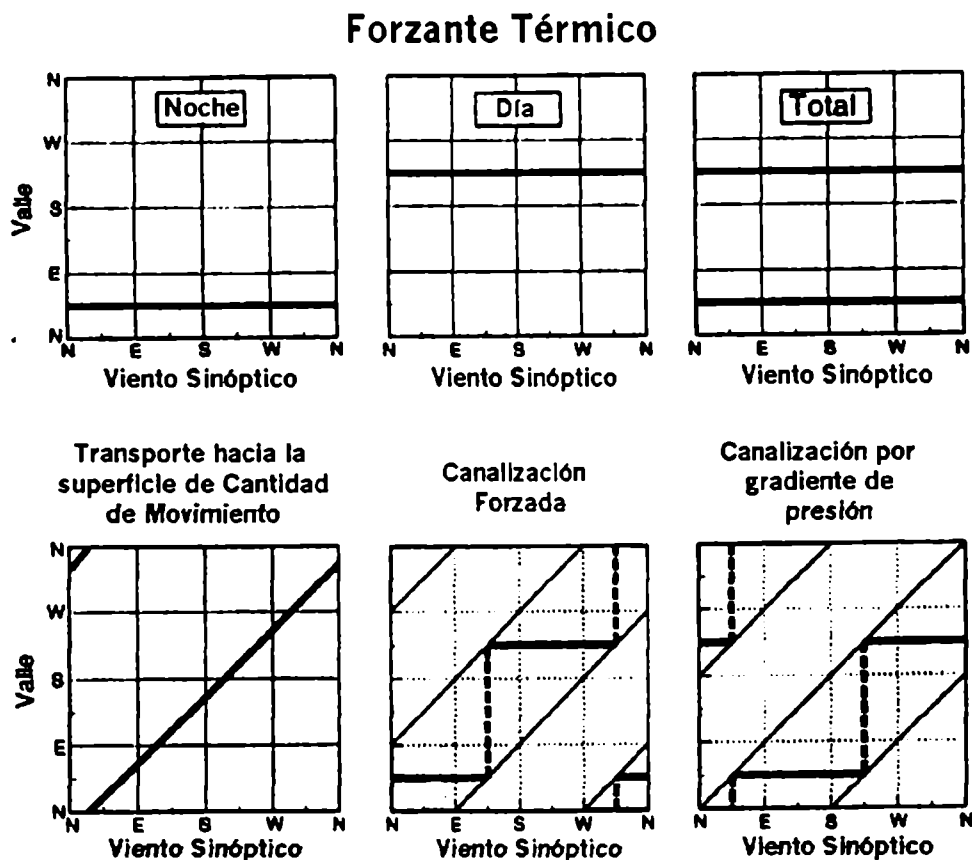


Fig. 8.6: Relaciones idealizadas entre el viento en el valle y el viento en escala sinóptica para un valle que corre en la dirección NE-SW (Weber y Kaufmann, 1998).

influencia en las características del flujo cercano a la superficie. Para vientos intensos de escala sinóptica, el flujo del aire es aproximadamente uniforme en toda el área. Para vientos débiles, se desarrollan los sistemas locales de vientos de valle. El ciclo diurno del viento, provee indicios de que estos vientos son condicionados por las diferencias de temperatura.

Wagner (1932) asumió que estos vientos de valle ocurrían en grandes valles en forma de U. Posteriormente, estas circulaciones también fueron observadas en valles pequeños y en valles en forma de V (Ekhardt, 1948). Los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro presentan configuraciones de valle tipo escalón que no se identifica exactamente con las características de los valles U ó V. Son valles poco profundos y con laderas abruptas (ver Capítulo 3). Wagner (1932) distingue tres mecanismos de intercambio de masa entre regiones montañosas y planicies adyacentes: vientos de pendiente, vientos de valle a lo largo del eje e intercambio de masas de aire de gran escala.

8.5 RELACIONES ENTRE EL VIENTO EN EL VALLE Y EL VIENTO EN ESCALA SINÓPTICA

Whiteman y Doran (1993) propusieron un modelo conceptual de cuatro relaciones idealizadas entre el flujo del aire en escala sinóptica y la dirección del viento en el valle. Algunos mecanismos predominan sobre otros, pudiendo variar a lo largo del día.

Whiteman y Doran (1993) determinaron el tipo de forzante que se presenta en un valle a partir de la distribución de probabilidad conjunta entre el viento en escala sinóptica y el viento observado cerca de la superficie. La Figura 8.6 presenta las relaciones idealizadas para un valle con eje longitudinal en la dirección NE-SW (Weber y Kaufmann, 1998).

El primer proceso que se muestra en la Figura 8.6 es el forzante térmico. En este caso, el flujo en el valle es independiente del viento en escala sinóptica. El gradiente térmico entre el aire del valle y el aire alrededor crea un gradiente de presión a lo largo del eje del valle debido al calentamiento diurno y al enfriamiento nocturno que es la fuerza conductora del movimiento del aire. Muestra un ciclo diurno marcado con vientos valle arriba durante el día y valle abajo durante la noche (Whiteman, 1990). Es el único mecanismo que produce un ciclo diurno.

El segundo mecanismo, es un marcado transporte de cantidad de movimiento desde arriba del valle. La fricción horizontalmente isotrópica produce un giro de 25° del viento a escala sinóptica hacia el centro de baja presión a medida que disminuye la altura. La fricción y el transporte de cantidad de movimiento hacia abajo son las fuerzas dominantes. El gráfico idealizado de la Figura 8.6 permanece similar para todas las direcciones de valles.

El tercer mecanismo es la canalización forzada. Las paredes del valle causan fricción no isotrópica que es mayor para un valle perpendicular al flujo que para el caso de un valle alineado con el flujo. La fricción no isotrópica y el transporte de cantidad de movimiento desde el viento en escala sinóptica son las fuerzas actuantes en este mecanismo. Cuando la dirección del viento en escala sinóptica cruza una línea normal al valle, el viento en el valle tiene una dirección rotada 180° . Para direcciones del valle distintas a la representadas en la figura la estructura de escalón se mantiene dentro del área gris pero se desplaza, paralela a lo largo de la diagonal.

El cuarto mecanismo es la canalización debida a la presión, es el mecanismo producido cuando el viento del valle es producido por un gradiente de presión a lo largo del eje del valle (Fiedler, 1983). El viento a lo largo del valle cambia dirección en 180° cuando la dirección del viento en escala sinóptica sigue el eje del valle. Este mecanismo puede generar contracorrientes en el valle.

La canalización forzada y la canalización debida a la presión pueden distinguirse teniendo en cuenta la dirección del viento para la cual se produce un cambio en la dirección del viento en el valle.

Cuando la canalización se debe al efecto de la presión el cambio ocurre cuando la dirección del viento sinóptico cruza el eje longitudinal del valle, mientras que en la canalización forzada el cambio de dirección se produce en una dirección normal al eje del valle.

El valle del Rhin en Alemania tiene características similares al valle del Río Negro, 35 km de ancho, con bordes bajos y el suelo no presenta accidentes orográficos importantes. Los estudios de Wipperman y Gross (1981) mostraron que el flujo del aire en el interior era susceptible a la influencia del viento sobre el valle.

En condiciones estables, el aire dentro del valle fluye paralelo al eje N-S del valle y la dirección depende fuertemente del viento geostrófico en 850 hPa.

Los autores encontraron que con vientos de W en 850 hPa, el viento asociado en superficie era del S y que cuando la dirección del viento geostrófico era Sur, los vientos en superficie resultaban con cambios pequeños en la dirección hacia el N o hacia el S. Este efecto fue relacionado con las características del campo de presión asociado al viento geostrófico y su superposición con la configuración de la presión del valle. La alta influencia del valle sobre las características del

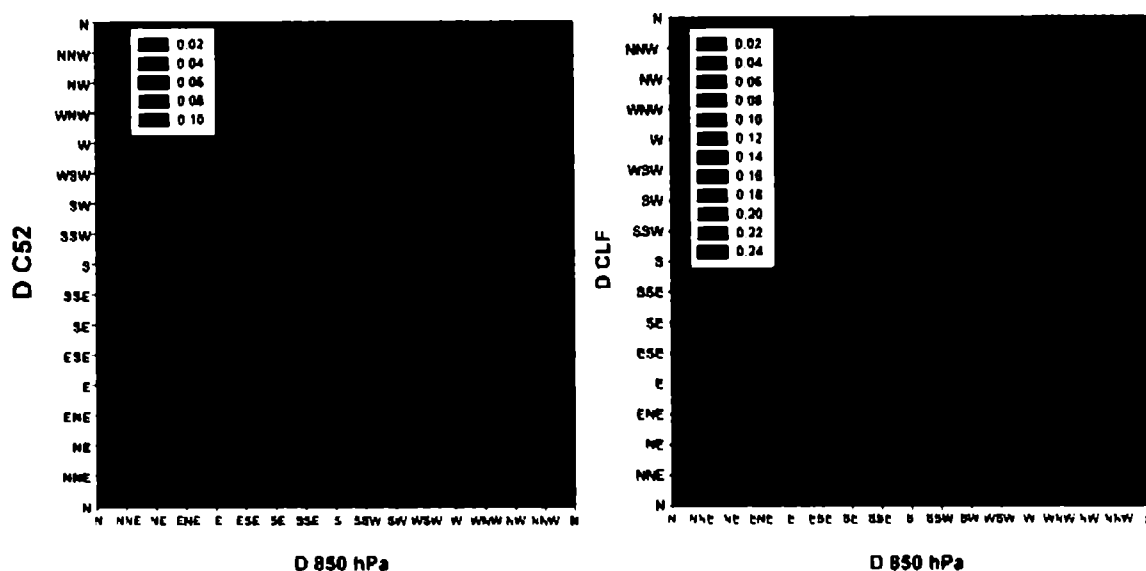


Fig. 8.7: Distribución de probabilidad conjunta relativa del viento en superficie y la dirección del viento en el valle en CLF (izquierda) entre el 13 y el 17 de octubre de 1993 y en C52 (derecha) entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993 en el período de 8:00 a 11:00 am.

sistema de presión en escala sinóptica se presenta aún en los valles poco profundos donde los sistemas térmicos son débiles, ya que estos dependen fuertemente de la profundidad del valle.

En el caso de las estaciones CLF y C52 analizadas, se efectuó una comparación del viento en el interior del valle con el viento en 850 hPa, que fue considerado como representativo del viento de escala sinóptica o del viento geostrófico. Las rosas de viento para un período de 30 años, fueron presentadas en el capítulo 7 y las rosas de viento para los períodos más cortos analizados muestran una alineación del viento en superficie con el eje del valle en todas las estaciones analizadas (ver Figuras 8.1 a 8.3).

La distribución de frecuencias de direcciones de viento para cada una de las estaciones analizadas en el día y la noche presenta una leve influencia del ciclo diurno.

La Figura 8.7 presenta la distribución conjunta obtenida de radiosondeos en la estación Neuquén Aero (NA) y el viento en C52 y en CLF. El viento en 850 hPa se consideró representativo durante 3 horas. En el caso de CLF, no se contaba con información de radiosondeos, por lo que se utilizó como estimativo de la dirección del viento la dirección media diaria obtenida de los reanálisis del NCEP/NCAR, por lo que los resultados obtenidos deben considerarse orientativos.

La relación del viento medio diario en 850 hPa y el viento en el valle en CLF durante todo el día, en el período 13-17/10/93 presenta una rotación de $\pm 90^\circ$ para los casos de viento con

dirección perpendicular al valle. La distribución de probabilidad conjunta entre CLF y el viento medio calculado en el reanálisis en 850 hPa presenta características de la canalización forzada (ver Figura 8.5). Este proceso se presenta más frecuentemente en valles en que el eje es transversal al flujo de aire, lo que presenta concordancia con el valle del río Neuquén, donde se encuentra CLF. En C52 no se distingue claramente un proceso, sino que se presentan evidencias de canalización forzada en la dirección del viento, con una tendencia a alinearse en la diagonal característica del transporte de cantidad de movimiento desde el flujo de escala sinóptica hacia

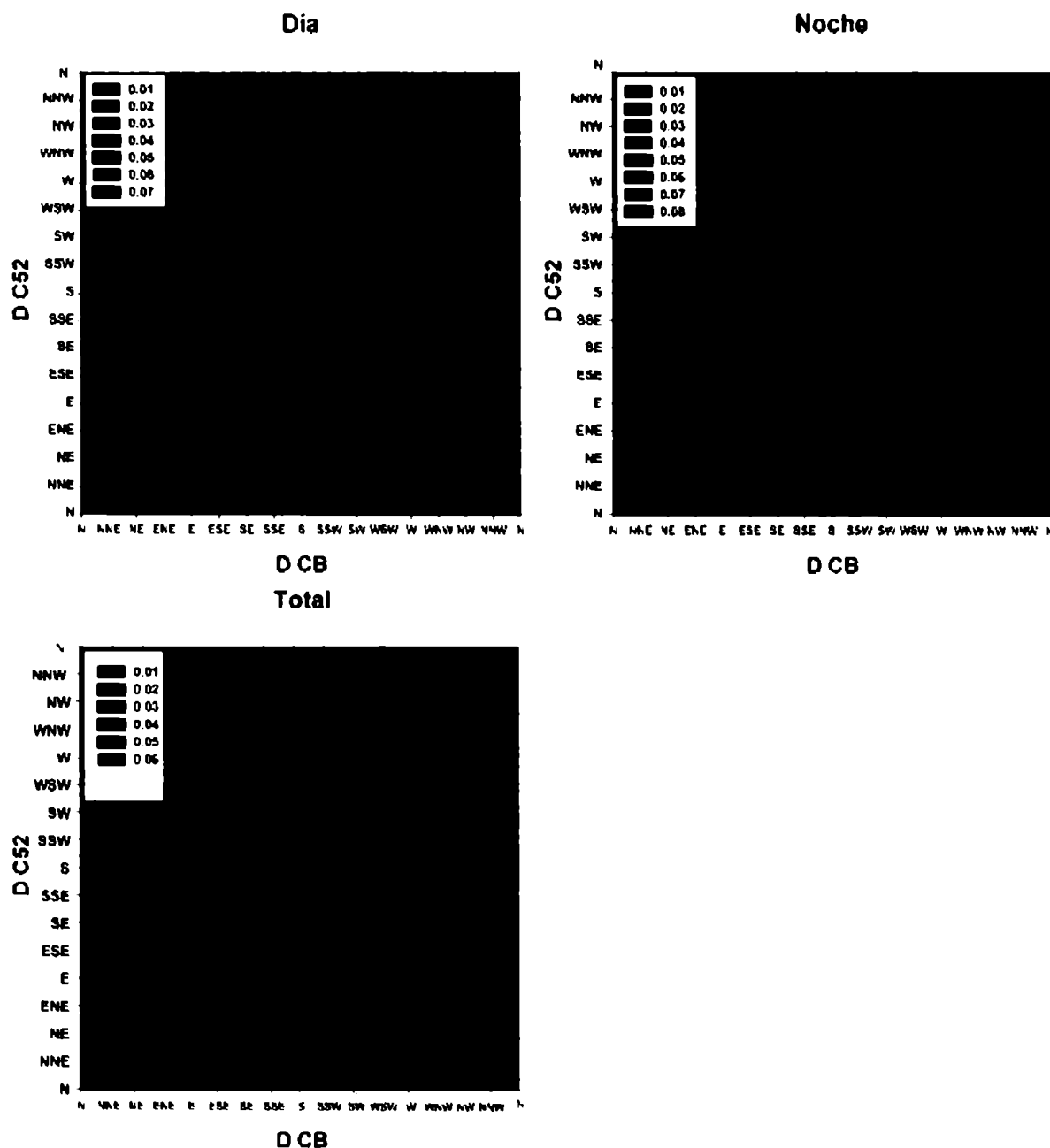


Fig. 8.8: Distribución conjunta del viento en CB sobre la meseta y el viento en C52, durante el día (arriba, izquierda), la noche (arriba, derecha) y durante todo el día (abajo), ubicada en el interior del valle en el período 1/10/94 - 13/10/94.

el valle. En este análisis debe tenerse en cuenta que debido a que los datos no presentan ocurrencia de viento en todas las direcciones, los resultados no son concluyentes.

La Figura 8.8 presenta la distribución de probabilidad conjunta de la dirección del viento en CB (15 m sobre el nivel de la meseta) y la dirección del viento en C52 ubicada en el interior del valle. En este análisis se tuvo en cuenta que el valle se encuentra insertado en una meseta sin accidentes topográficos importantes, y se realizó un análisis similar considerando como viento en escala sinóptica al viento obtenido en CB como ya se explicó previamente.

En el período nocturno, se distingue de manera más marcada la canalización forzada y

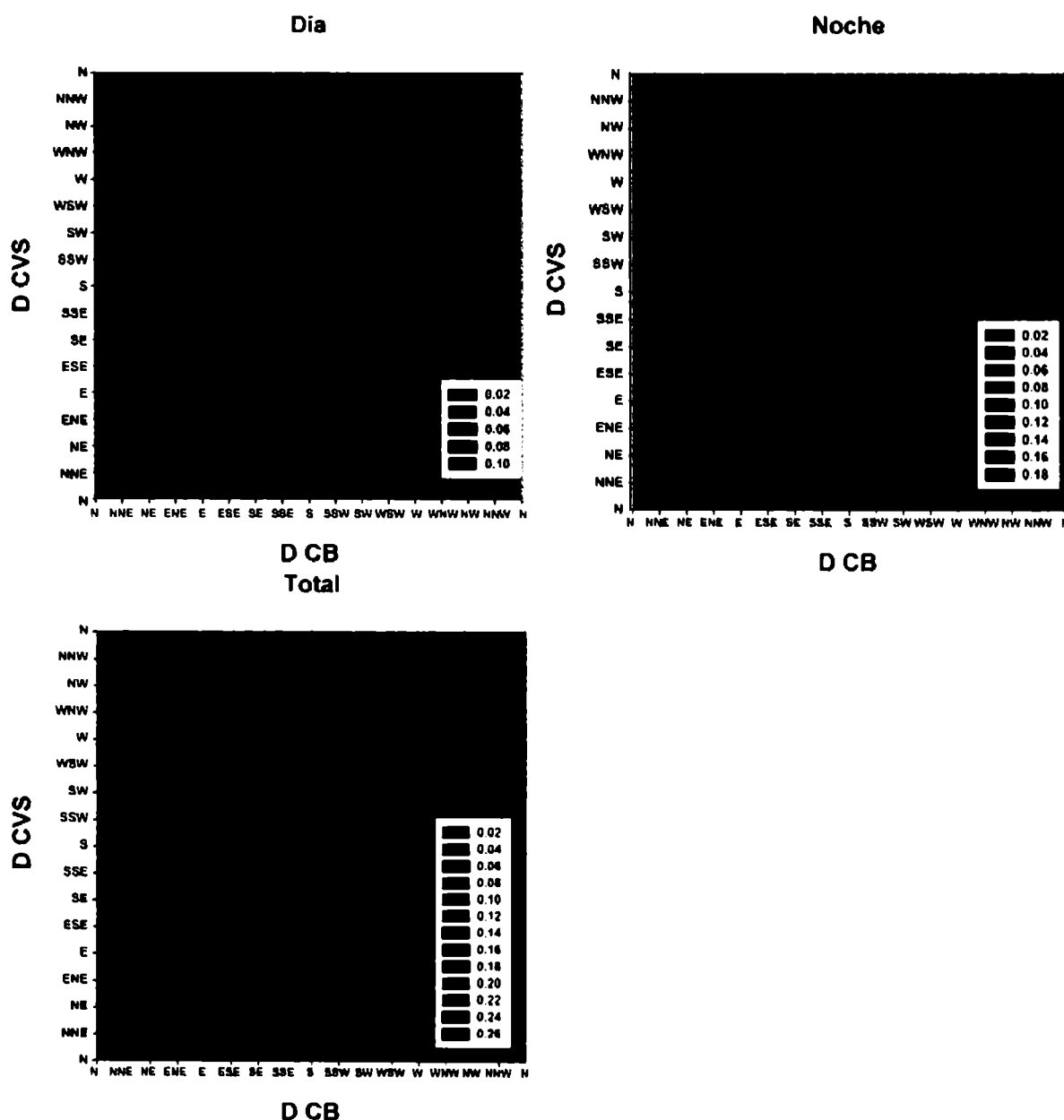


Fig. 8.9: Distribución conjunta del viento en CB sobre la meseta y el viento en CVS, durante el día (arriba, izquierda), la noche (arriba, derecha) y durante todo el día (abajo), ubicada en el interior del valle en el período 1/10/94 - 13/10/94.

durante el día se presentan las características de la canalización forzada, pero muy alineada en la diagonal, indicando que durante el día es mucho menos canalizado y el transporte de cantidad de movimiento desde el viento en escala sinóptica es más importante. Durante la noche se presentan casos en la dirección NNE con intensidad de viento muy leve que podrían asociarse a vientos de drenaje desde la barda.

En todos los casos presentados, la intensidad del viento en escala sinóptica fue débil, por lo que se esperaría que la transferencia de cantidad de movimiento influye menos en la determinación de la dirección del viento en el valle. La relación entre el viento en escala sinóptica y el viento en C52 en el período 1 al 5 de septiembre de 1993 (Figura 8.7) entre las 8:00 h y las 11:00 h presenta máximos en la dirección del viento en el valle alineada con el eje del mismo en C52 (eje del valle WNW a W-ESE a E) con valores comprendidos entre la diagonal del esquema y $\pm 90^\circ$. Siguiendo la metodología propuesta por Whiteman y Doran (1993) El proceso conductor sería la canalización forzada.

La Figura 8.9 presenta la distribución de probabilidad conjunta de la dirección del viento en CB (15 m sobre el nivel de la meseta) y la dirección del viento en CVS ubicada en el interior del valle del río Limay de manera similar a lo realizado para los datos de C52.

En CVS se presentan dos giros en la dirección del viento. Uno de ellos se ajustaría a los procesos producidos por el gradiente de presión, mientras que el otro estaría asociado a la canalización forzada. En este caso, se presenta una tendencia menor que en C52 a alinearse en la diagonal característica del transporte de cantidad de movimiento desde el flujo de escala sinóptica hacia el valle y la distribución de probabilidad conjunta presenta máximos con formas más definidas.

RESUMEN

Los principales resultados del Capítulo pueden resumirse de la siguiente manera:

Los valores obtenidos sugieren que en los casos en que se presenta viento del sector E en las estaciones meteorológicas analizadas, la mayor frecuencia es del ESE, siguiendo la topografía del valle del río Negro viento arriba. En NA se nota un incremento de las frecuencias de las direcciones valle abajo durante la noche y una disminución de las mismas durante el día, aunque no se manifiesta un aumento de las direcciones valle arriba durante el día.

El viento en la estación Centenario (CB) fue considerado como indicativo de la circulación de la atmósfera a escala regional, ya que esa estación está emplazada por sobre el nivel de la barda.

Las diferencias de temperatura entre la meseta y el valle producen un gradiente de presión variable durante el día que genera el sistema de vientos de valle.

La diferencia de presión entre la estación CB ubicada sobre la meseta en el valle del río Neuquén y C52 instalada en el valle del Río Negro (existen 58 m, de desnivel entre CB y C52), entre el 1/10/94 y el 13/10/94 presenta una variación diurna que muestra alguna concordancia cualitativa con los resultados obtenidos en Austria por Nickus y Vergeiner (1984). La máxima diferencia de presión, ocurre a las 13:45 HOA (16:45 UTC) en el período considerado insinuando el gradiente de presión que ocurre en los casos de presencia de vientos de valle.

Las experiencias llevadas a cabo en valles muestran que los vientos de valle son más

frecuentes en días con alta presión y vientos de escala sinóptica débil. La muestra de los valles de los ríos Neuquén y Negro, no presenta diferencias en la distribución de direcciones de viento, en los casos en que la intensidad del viento fue menor a 2 m/s durante el total del período considerado.

En el caso de las estaciones CLF y C52 analizadas, se efectuó una comparación de la distribución de probabilidad del viento en el interior del valle con el viento en 850 hPa, que fue considerado como representativo del viento de escala sinóptica o del viento geostrófico.

La distribución de probabilidad conjunta entre CLF y el viento medio en 850 hPa calculado mediante el reanálisis de NCEP/NCAR presenta características de la canalización forzada, este proceso se presenta más frecuentemente en valles en que el eje es transversal al flujo de aire, lo que presenta concordancia con el valle del río Neuquén, donde se encuentra CLF. En C52 no se distingue sólo un proceso, sino que estaría asociado a la canalización forzada, con una tendencia a alinearse en la diagonal característica del transporte de cantidad de movimiento desde el flujo de escala sinóptica hacia el valle.

La distribución de probabilidad conjunta de las direcciones del viento en CB (15 m sobre el nivel de la meseta) y en C52 ubicada en el interior del valle en el período nocturno, presenta de manera más marcada la canalización forzada y durante el día se presentan las características de la canalización forzada, pero muy alineada en la diagonal, indicando una menor canalización. Durante la noche se presentan casos en la dirección NNE con intensidad de viento muy leve que podrían asociarse a vientos de drenaje desde la barda.

En CVS se presentan dos giros en la dirección del viento. Uno se ajustaría a los procesos producidos por el gradiente de presión, mientras que el otro estaría asociado a la canalización forzada.

9. ANÁLISIS ESPECTRAL

9.1 ANTECEDENTES

A partir de este análisis se intenta diferenciar los procesos de distintas escalas que influyen en las características de la temperatura del aire y de la intensidad del viento en estaciones meteorológicas ubicadas en los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro y confirmar que en la región se verifican resultados previamente obtenidos por otros autores.

El análisis del comportamiento de las variables atmosféricas para diferentes escalas temporales y espaciales en un amplio rango de frecuencias, fue realizado mediante análisis espectral y utilizando diferentes técnicas por diversos autores:

Panofsky y Van der Hoven (1955) analizaron el espectro y el espectro cruzado de las componentes de la velocidad del viento y determinaron la existencia de una brecha ("gap") espectral en frecuencias de aproximadamente 1 ciclo/h. Dicha brecha fue atribuida a la existencia de fenómenos físicos atmosféricos en ese rango de frecuencias que contribuyen mínimamente a la energía cinética de la atmósfera. Para el caso de las componentes horizontales del viento, los autores analizaron una semana de datos promediados cada 5 minutos encontrando que gran parte de la energía turbulenta se localiza en el rango de frecuencias entre 0.01 y 0.1 ciclos h^{-1} .

Griffith y otros (1956) calcularon el espectro de la temperatura del aire en un amplio rango de frecuencias mediante el procedimiento propuesto por Blackman y Tukey (1958). Las series fueron promediadas cada 1, 2, 3, 6, 14 y 42 días. Para las frecuencias más bajas se utilizaron 68 años de datos, y las frecuencias más altas fueron calculadas a partir de 1 ó 2 años que se consideraron representativos de los 68 años. Una gran parte de la varianza fue explicada por la contribución correspondiente al período de 4 días.

Van der Hoven (1956) calculó el espectro de la velocidad horizontal del viento para frecuencias comprendidas entre 0.0007 y 900 ciclos h^{-1} con datos obtenidos en mediciones en distintos tipos de terreno y diferentes condiciones atmosféricas. De su análisis surge que la mayor transferencia de cantidad de movimiento y calor ocurre en períodos de aproximadamente 4 días, lo que se atribuyó a las fluctuaciones en el viento debidas al pasaje de sistemas sinópticos. En períodos de 12 h aparece un pico que atribuyó a fluctuaciones muestrales. Sin embargo, de acuerdo a Hellman (1915) ocurre un doble máximo en la variación diurna de la velocidad del viento a una altura de 70 m, mientras que cerca del suelo y a una altura de varios cientos de metros habría solamente un máximo en 24 h. De su estudio determinó que la posición de la brecha con mínima energía dependería de la rugosidad del terreno, corriéndose a frecuencias más altas en condiciones de terreno rugoso. Con respecto a los rangos de velocidad media considerados, la amplitud del pico se encontró entre 0.1 y 0.2 m^2/s^2 .

Busch y Panofsky (1968) analizaron y compararon el espectro de la turbulencia atmosférica correspondiente a diferentes alturas y en sitios bajo una variedad de condiciones de estabilidad atmosférica. En regiones donde el espectro obedecía las leyes potenciales con exponente $(-5/3)$, la relación entre el espectro lateral con respecto al longitudinal presentó buena concordancia con el valor del exponente $(-4/3)$ establecido por la hipótesis de Kolmogorov para el sub-rango inercial. Los valores de disipación calculados a partir del espectro longitudinal

fueron consistentes con la hipótesis de que la disipación es balanceada por la producción total de energía turbulenta convectiva y mecánica, si la turbulencia está en equilibrio. El espectro longitudinal obedecería la teoría de la similitud.

Polowchak y Panofsky (1968) llevaron a cabo un análisis espectral de datos diarios de temperatura en 17 estaciones meteorológicas ubicadas en EEUU, filtrando la onda anual y determinando las características asociadas a distintas condiciones de ubicación geográfica. Los resultados obtenidos en invierno en la costa oeste se caracterizaron por concentrar energía en períodos de 2 semanas, mientras que en la costa este la mayor parte de la varianza se concentró en períodos de una semana, notándose casos intermedios para lugares ubicados en el centro del continente. Durante el verano, los espectros fueron más chatos y menos distintivos, aunque en la costa noreste predominaron períodos más cortos.

Minetti (1991) estudió las singularidades climáticas en series de temperatura del noroeste argentino utilizando el análisis espectral. A partir de las temperaturas máximas y mínimas diarias de San Miguel de Tucumán en el período 1889-1987, el análisis puso de manifiesto que los valores eran afectados por el problema del crecimiento urbano-industrial con la introducción de una señal en baja frecuencia con crecimiento lineal en el tiempo. Además, detectó irregularidades intraestacionales en la marcha anual de las temperaturas mínima y máxima y determinó que la persistencia es mayor en la temperatura mínima que en la máxima.

Oort y Taylor (1969) obtuvieron el espectro de la velocidad horizontal del viento usando datos horarios para series de 10 años por medio de la Transformada Rápida de Fourier desarrollada por Cooley y Tukey (1965). El rango de frecuencias se extendió entre 1 ciclo/2 h y 1 ciclo/2 años. El espectro de energía cinética muestra 2 picos asociados a períodos de 24 h y 1 año. Sin embargo, la mayoría de la energía se observó en períodos comprendidos entre 2 y 7 días, que fue atribuido al pasaje de ciclones y anticiclones migratorios. La discrepancia aparente con los resultados encontrados por Van der Hoven (1956) acerca de la existencia de un importante ciclo diurno en la energía cinética fueron explicadas por la teoría de Blackadar (1957) de la variación diurna del viento con la altura. Los resultados obtenidos por Van der Hoven (1956) son válidos en el tope de la capa límite y los de Oort y Taylor (1969), son aplicables a la capa de superficie. Los registros utilizados estaban influidos por distintas características en la disposición de las estaciones: la altura del anemómetro difería de estación en estación, la disposición de los edificios en los alrededores seguía configuraciones diferentes y en algunos casos, las estaciones fueron cambiadas de lugar durante el período considerado. Además realizaron los espectros de las componentes u y v de la intensidad del viento, encontrando que la mayor parte de la varianza explicada se concentró en períodos comprendidos entre 2 y 7 días. De igual manera, no observaron diferencias con respecto al ciclo diurno. Para bajas frecuencias, las mayores varianzas, se encontraron en los períodos anual y semi-anual.

Julian (1971) examinó el uso de técnicas espectrales aplicadas a la detección de modos ondulatorios en la circulación atmosférica de gran escala. Restringió los propósitos de la realización del análisis espectral a la verificación de la existencia de modos ondulatorios dominantes o a la verificación de la estructura de un comportamiento predicho obedeciendo leyes potenciales. Analizó dos aproximaciones diferentes desde el punto de vista metodológico: la utilización del espectro de la muestra a partir de un conjunto de observaciones para verificar la teoría y la realización de un diagnóstico a partir de la obtención de un conjunto de observaciones. En el primer caso, la hipótesis se acepta o rechaza mediante el análisis estadístico, mientras que en el segundo caso la evaluación del problema cambia, ya que no es lo mismo encontrar la

significancia estadística de un pico que se presenta en una frecuencia no esperada, que evaluarlo cuando uno lo espera "a priori". Si se tienen q estimadores espectrales independientes y se elige el nivel de confianza de 95% entonces 0.05 q estimadores pueden exceder el nivel de confianza de la distribución χ^2/ν donde ν es el valor de los grados de libertad. La teoría muestral no especifica la frecuencia en la que ocurren esos estimadores y la aceptación posterior de ellos como significativos puede no cumplir con exigencias estadísticas. A partir de esto sugiere dos reglas para confirmar formas espectrales no esperadas, la confirmación por medio de la utilización de muestras de datos independientes o la aplicación de niveles de significancia mayores a los convencionales.

Kaimal y otros (1972) describieron el comportamiento del espectro y coespectro de la turbulencia en la capa de superficie utilizando datos de temperatura e intensidad de viento obtenidos durante los experimentos AFCRL (Air Force Cambridge Research Laboratories) en Kansas (EEUU). El espectro y coespectro fueron reducidos a una familia de curvas cuya diferencia depende de la estabilidad atmosférica en bajas frecuencias pero que convergen a una curva simple universal en el subrango inercial.

Hess y Clarke (1973) presentaron el espectro temporal y el espectro cruzado de las componentes del viento en mesoescala cada 250 m de altura en la capa límite turbulenta, con datos horarios obtenidos por medio de globos durante el experimento Wangara (Australia). El espectro presentó una brecha en fenómenos de mesoescala en las componentes zonal y meridional del viento. Para períodos menores a un día, los espectros de u y v siguieron una relación $n^{-2.6}$, donde n es el valor de la frecuencia. Este resultado se mantuvo invariante con la altura dentro de la capa límite planetaria. Los coespectros uv , uw y vw presentaron pequeñas contribuciones en la mesoescala. Un pico inercial se encontró en u y v y el espectro de w mostró un pico diurno.

Sharán and Wickerts (1974) obtuvieron y analizaron espectros de la velocidad del viento en la capa de superficie. Confirmaron que en el sub-rango inercial para las tres componentes del vector velocidad del aire y para condiciones diferentes de estabilidad atmosférica, el espectro converge en una función potencial con exponente $-2/3$ en el extremo de las altas frecuencias. En el extremo de las bajas frecuencias, el espectro se agrupa en forma aleatoria en un cierto ancho de banda y no muestra ninguna función con la estabilidad de la atmósfera, confirmando lo encontrado por Kaimal y otros (1972).

Wamser and Müller (1977) investigaron las escalas espectrales de las componentes longitudinal y vertical de la velocidad del aire a partir de mediciones obtenidas en una torre de 250 m de altura ubicada en sitios con diferente rugosidad. Compararon los resultados con los del experimento de Kansas (EEUU) (ver Kaimal y otros, 1972). Los resultados mostraron una dependencia de la estabilidad con las escalas espectrales hasta grandes alturas.

Caughey y Palmer (1979) combinaron datos obtenidos en mediciones llevadas a cabo en Ashchurch, Worcestershire (Reino Unido) durante julio de 1976 con datos obtenidos en el experimento de Minnesota (EEUU) en 1973. Esos datos permitieron una descripción del comportamiento de algunos parámetros estadísticos de la turbulencia en la altura de la capa límite convectiva y en el aire estable de la atmósfera libre. El conjunto combinado de datos confirma la importancia de los efectos de mezcla en la capa límite convectiva, con aire cálido afectando fuertemente la temperatura y los flujos de calor en la mitad superior de la capa. Un resultado importante, fue la confirmación de una diferencia en el comportamiento entre el espectro dentro de la capa mezclada y el de la atmósfera libre. Este último, mostró similitud con el espectro de la capa nocturna en superficie en condiciones de atmósfera moderada a fuertemente estable.

Andreas y Paulson (1979) calcularon estimadores del espectro de u y v y del coespectro de uv en el Ártico y sobre una superficie helada. Los resultados obtenidos fueron característicos, debido a que las mediciones fueron realizadas dentro de una capa límite interna de 50 cm de altura. Las formas del espectro y del coespectro estuvieron fuertemente afectadas por la intensa mezcla y la cercanía a la superficie de las mediciones.

Panofsky y otros (1982) analizaron espectros de las componentes de velocidad del viento sobre una amplia variedad de terreno complejos y compararon con el modelo válido para terreno liso uniforme. Corriente abajo de un terreno con mayor rugosidad, las densidades espectrales son afectadas sólo en la capa límite interna. En el caso de espectro longitudinal, sólo las altas frecuencias se ajustan inmediatamente, las componentes de bajas frecuencias permanecen sin afectar hasta distancias de 2000 veces la longitud de rugosidad corriente abajo. Resultados similares se obtuvieron en topos de cerros, notándose conformidad con el modelo en el subrango inercial y una reducción en bajas frecuencias de la densidad espectral longitudinal. El espectro de la velocidad vertical mostró conformidad en todo el rango espectral, debido a la ausencia de componentes de baja frecuencia.

Prakash y otros (1993) discutieron las características del espectro de la velocidad del viento y de la temperatura del aire utilizando la Transformada Rápida de Fourier para un sitio ubicado a 0.5 km de la costa en Thumba (India), en un terreno principalmente liso, arenoso y con vegetación escasa. En las características del viento zonal aparecen de manifiesto circulaciones locales, como la brisa marina y la brecha en la región de mesoescala. El ancho de la brecha varió para distintas estabildades de la atmósfera, corriéndose hacia frecuencias más altas a medida que se incrementaba la estabilidad. El espectro de temperatura reveló una brecha, en periodos de alrededor de 1 hora.

May y otros (1995) analizaron los datos de viento correspondientes a un año, obtenidos con un perfilador en Darwin (Australia) calculando espectros y biespectros (Subba Rao y Gabr, 1984). Como resultado, obtuvieron que no había diferencias significativas entre el espectro de la velocidad horizontal dentro y sobre la capa mezclada. El espectro de la velocidad horizontal del viento mostró poca diferencia estacional considerando diferentes estaciones: seca, monzón y transición, aún cuando los forzantes difieren notoriamente de una estación a otra. Concluyeron además, que la forma espectral de la componente horizontal del viento no varía significativamente en la capa mezclada hasta la troposfera libre, a pesar de que el espectro de velocidad vertical presentó un comportamiento muy dispar.

El espectro de variables meteorológicas correspondiente a amplios rangos de frecuencias puede variar espacialmente y en particular con la altura. El espectro en los primeros 150 m de altura que abarque periodos comprendidos entre varios meses a fracciones de segundo, requiere una gran cantidad de observaciones. Debido a ello, en la práctica ese espectro se obtiene formando composiciones de cálculos evaluados sobre rangos más reducidos de frecuencia. En algunas zonas este tipo de espectro fue obtenido a partir de mediciones de la velocidad del viento. Por ejemplo, se estimaron espectros siguiendo esta metodología en Brookhaven (EE.UU) (Van der Hoven, 1956) y en Obninsk (Rusia) (Bysova y otros, 1967). En todos los casos se observó un máximo en pequeña escala entre 10^{-2} y 10^{-3} Hz. y otro máximo en gran escala entre 10^{-5} y 10^{-6} Hz, con un mínimo pronunciado en frecuencias de $2.7 \cdot 10^{-4}$ Hz. Además, se presentó un pico en el periodo de 24 h y a veces en el de 12 h, mostrando variaciones diurnas del viento. El pico de 24 h es pronunciado cerca del suelo, desaparece en alturas de 100 m y reaparece a mayores niveles. El pico correspondiente a la baja frecuencia se atribuye a sistemas atmosféricos en la escala

sinóptica (*pico sinóptico*) y el pico de alta frecuencia es atribuido a la convección térmica y turbulencia mecánica, por lo que se lo denomina *pico turbulento* (en esta región de frecuencias también contribuyen a la energía las ondas de gravedad).

El máximo sinóptico (escala horizontal de aproximadamente 1000 km) es producido por inestabilidades asociadas con gradientes horizontales de viento y de temperatura en gran escala, mientras que el pico turbulento (escala horizontal de algunos cientos de metros) está vinculado a inestabilidades asociadas con gradientes verticales de viento y temperatura (Panofsky y Dutton, 1984).

El espectro de temperatura tiene características similares a los de las componentes del viento.

El cálculo del espectro en base a información correspondiente a un largo período de tiempo en un determinado lugar podría mostrar relativamente poca energía en altas frecuencias y probablemente no se distinga el mínimo en la mesoescala. Esto no se debe a la ausencia de energía en ese rango, sino al hecho de que se presenta en forma intermitente. Las irrupciones turbulentas pueden ser localmente importantes. El mínimo espectral puede ser incluido superponiendo el espectro correspondiente al rango sinóptico con el espectro vinculado con regiones con fuerte turbulencia.

Básicamente, las funciones de densidad espectral y las funciones de correlación contienen la misma información: describen cómo varía la varianza con distintas escalas, frecuencias o tamaños de los torbellinos.

Las densidades espectrales pueden ser graficadas en escala lineal en función de la frecuencia, y representan la contribución a la energía espectral de las fluctuaciones turbulentas en un intervalo de frecuencias.

9.2. INTRODUCCIÓN

El análisis de series temporales ha sido aplicado a diversos estudios de ciencias del ambiente. Uno de los primeros estudios fue el análisis del número de manchas solares realizado por Schuster (1906). Schimmel (1978) y Wyzga (1978) estudiaron la mortalidad asociada al tiempo y a los efectos de contaminación. Markel y Gray (1976) lo aplicaron en la transmisión de voces.

El modelado y el pronóstico en el dominio temporal son presentados por Box y Jenkins (1970) y la aplicación de las técnicas a la geofísica fueron resumidas por Båth (1974).

El análisis en el dominio de frecuencias presenta a las series temporales como una suma o superposición lineal de ondas sinusoidales y cosenosoidales de diferentes períodos o frecuencias. Este procedimiento se aplicó con éxito en campos de la Física y la Geofísica. Diversos enfoques fueron desarrollados por Jenkins y Watts (1968), Bloomfield (1976), Otnes y Enochson (1978), Priestley (1981) y Shumway (1988).

Los algoritmos de la transformada de Fourier y los avances de la tecnología computacional son herramientas importantes en el análisis de series temporales. La utilización de la transformada rápida de Fourier se popularizó a partir de los trabajos de Cooley y Tukey (1965). Diferentes formas de aplicación fueron utilizadas por Otnes y Enochson (1972, 1978), Elliott y Rao (1978) y Press y otros (1986).

9.2.1 Espectro de una serie de datos

Las series utilizadas en este trabajo para el cálculo del espectro fueron consistidas, se completó la información faltante, que en ninguno de los casos superó el 4% del total de datos (ver Capítulo 4) y se verificó la estacionariedad de los datos (Panofsky y Brier, 1958; Jenkins y Watts, 1968).

Se realizó un análisis armónico de las series completas para discriminar los porcentajes de varianza representados por la tendencia estacional y la onda diaria. En las Tablas 9.i y 9.ii se puede apreciar para el caso de la temperatura del aire, que las contribuciones de fluctuaciones de baja frecuencia, así como la contribución de la onda diaria, representan un porcentaje muy alto de la varianza total, lo que impide discriminar otras fluctuaciones *no obvias*.

Una serie con tendencia puede ser descrita por medio del análisis de Fourier pero se aumenta notablemente el número de frecuencias requeridas para ello. Para disminuir este efecto, se debe filtrar la tendencia y obtener una serie modificada que permita analizarla sin interferencias. En general, cualquier baja frecuencia con un período mayor al período de toda la muestra generará frecuencias espúreas.

En las series analizadas, se removió la tendencia debida a la variación estacional por medio de la sustracción de una recta obtenida por mínimos cuadrados, y la componente dada por

Tabla 9.i: Porcentajes de varianza más significativos para cada período $P(h)$ para las series horarias de temperatura en cada estación para septiembre y octubre de año 1988.

| P(h) | V/σ^2*100 | | | |
|------|------------------|-------|-------|-------|
| | C.S | NA | AV | VR |
| 1464 | 10.65 | 14.28 | 10.04 | 9.89 |
| 732 | 5.06 | 5.92 | 5.33 | 6.58 |
| 488 | 3.38 | 3.57 | 3.61 | 4.65 |
| 366 | 4.96 | 4.58 | 4.07 | 4.59 |
| 293 | 2.16 | 3.51 | 2.4 | 3.47 |
| 244 | 1.07 | 2.29 | 1.13 | 1.34 |
| 183 | 4.2 | 4.3 | 2.98 | 1.60 |
| 113 | 2.08 | 2.33 | 2.17 | 1.20 |
| 24 | 40.59 | 37.23 | 44.36 | 39.75 |

Tabla 9.ii: ídem 9.i para septiembre y octubre de 1989.

| P(h) | V/σ^2*100 | | | |
|------|------------------|-------|-------|-------|
| | CS | NA | AV | VR |
| 1464 | 22.09 | 25.66 | 21.47 | 22.23 |
| 732 | 11.06 | 14.06 | 10.09 | 9.63 |
| 488 | 6.13 | 7.93 | 6.34 | 9.87 |
| 366 | 1.45 | 1.18 | 1.37 | 0.87 |
| 293 | 2.09 | 2.46 | 2.61 | 3.20 |
| 244 | 3.87 | 3.49 | 3.71 | 3.16 |
| 104 | 2.16 | 1.28 | 1.42 | 1.07 |
| 24 | 33.25 | 28.62 | 34.39 | 31.52 |

la onda diaria mediante un filtro lineal.

El análisis de una serie que exhibe fluctuaciones estacionales depende del objetivo de su estudio. En este caso, se desea eliminar la contribución de la onda diaria debido a que al

concentrar una parte importante de la energía, impide que se discriminen los procesos “no obvios” que se pretende estudiar.

Para el filtrado de la onda diaria se utilizaron dos métodos:

- a) se aplicó un filtro haciendo la diferencia entre la serie y una representación de la onda diaria calculada a partir de un promedio ponderado de la componente cíclica en toda la muestra.
- b) Se eliminó la onda diaria utilizando un filtro de rechazo de banda (Notch filter) en el dominio temporal (Otnes y Enochson, 1978).

El primer procedimiento no elimina la contribución de la onda diaria, sino que atenúa en un 80 % su contribución. El filtro de rechazo de banda, logra eliminarla casi completamente, pero se agregan contribuciones espúreas en las frecuencias de 12 h, 8 h, etc, múltiplos y submúltiplos de la frecuencia filtrada. Este efecto sería explicado por las características de la onda diaria, que no es un ciclo perfecto.

En los casos considerados en este trabajo se obtiene la transformada discreta de Fourier (Elliot y Rao, 1978; Press y otros, 1986) utilizando el algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) desarrollado por Cooley-Tukey (1965) por medio de la subrutina FOURT implementada por Norman Brenner (dominio público) a partir de un programa BASIC de Rader (1967) a series de datos observacionales discretos, a los que previamente se le eliminaron la tendencia y el valor medio. El algoritmo no condiciona el número de datos a una potencia de dos, si bien en ese caso el tiempo de resolución se reduce significativamente.

La función ventana utilizada es una ventana de datos incluida bajo la denominación de ventanas de Parzen (Press y otros, 1986).

La varianza de los estimadores se redujo, partiendo la muestra original de datos en segmentos. Cada segmento fue analizado separadamente para producir un estimador. Finalmente los estimadores fueron promediados en cada frecuencia. Esta técnica es computacionalmente eficiente ya que es más eficiente calcular la Transformada Rápida de Fourier para un número menor de datos. Además, estabiliza los estimadores espectrales y permite que se reduzcan los datos que se manipulan cada vez, el cálculo utiliza el recurso de superposición de segmentos (overlapping) (Welch, 1978).

El espaciamiento existente entre dos observaciones consecutivas (Δt) limita la mayor frecuencia que puede ser discriminada. No se pueden representar frecuencias mayores a la frecuencia de corte o frecuencia de Nyquist (f_c). Si el espectro contiene frecuencias mayores a f_c se produce un plegamiento de la energía sobre las mayores frecuencias.

De resultados anteriores (Van der Hoven, 1956), se deduce que la energía en las fluctuaciones del viento menores que 2 h no puede ser despreciada. Debe tenerse en cuenta, que los valores del máximo alrededor de 0.02 h son 10 veces menores al pico alrededor de 100 hs, por lo que este problema no representa grandes valores de energía. Este efecto está limitado a las frecuencia cercanas a la frecuencia de corte (f_c). En los casos analizados, los valores de energía tienden a cero a medida que la frecuencia tiende a la frecuencia de corte, por lo que debería considerarse este posible efecto en la etapa del análisis para controlarlo.

Los resultados de los estimadores espectrales fueron evaluados ajustando una hipótesis nula al espectro, que represente la persistencia. Se desea conocer, si la serie contiene alguna otra forma no aleatoria, que se aparte de la persistencia. En este trabajo, se asume que el espectro verdadero apropiado pertenece a un proceso markoviano (ruido rojo) (ver Sección 9.3).

El error de los estimadores fue calculado considerando los intervalos de confianza al 95% con respecto al valor teórico del espectro.

9.2.2 Espectro entre dos series de datos

Para la comparación de dos series temporales se utilizó el espectro cruzado. El espectro cruzado es la transformada de Fourier de la covarianza cruzada, que determina la relación entre las dos series en el dominio de frecuencias, evaluando la contribución de una frecuencia específica a la covarianza cruzada total.

El espectro cruzado (Jenkins y Watts, 1968) es un número complejo tal que: la parte real es el co-espectro y la parte imaginaria es el espectro de cuadratura. El coespectro especifica la contribución de cada frecuencia (f) a la covarianza cruzada total para un desplazamiento temporal nulo. La cuadratura mide la contribución a la covarianza total cuando una de las series se desplaza temporalmente 90° (ver Necco, 1984).

Los valores hallados de coherencia, pueden o no coincidir con el valor real de la coherencia entre dos series. La probabilidad de encontrar una coherencia igual o mayor a un cierto valor β cuando la coherencia entre ambas series es cero puede acotarse dentro de un intervalo de confianza (Panofsky y Brier, 1958).

9.2.3 Relación entre el espectro cruzado y los transportes de calor y cantidad de movimiento

Las tensiones turbulentas son proporcionales por ejemplo a: $\overline{u'v'}$, $\overline{v'^2}$, etc. donde

u' y v' son las perturbaciones con respecto al movimiento básico o medio de las componentes de la velocidad del viento.

Desarrollando $\overline{u'v'}$ se tiene:

$$\overline{u'v'} = \overline{(u(t) - \bar{u})(v(t) - \bar{v})} \quad (9.1)$$

comparable con la expresión:

$$\overline{(u(t) - \bar{u})(v(t+\tau) - \bar{v})} = C_{uv}(\tau) \quad (9.2)$$

que es la función covarianza de las componentes u y v del viento en un punto.

En el cálculo de $\overline{u'v'}$ se combinan valores simultáneos de u y v , mientras que en el cálculo del coeficiente de correlación cruzada $C_{uv}(\tau)$ una serie se mantiene fija y la otra se desplaza en el tiempo o en el espacio. Esto se relaciona con la naturaleza de la turbulencia y se introducen variaciones temporales de la correlación.

Panofsky y McCormick (1954) hacen hincapié en que las definiciones de las tensiones de Reynolds no especifican cuáles son las escalas importantes del movimiento mientras que el espectro y el espectro cruzado proveen esa información.

9.3 ESPECTROS DE VARIABLES METEOROLÓGICAS EN ESTACIONES INSTALADAS EN LOS VALLES DE LOS RÍOS NEUQUÉN, LIMAY Y NEGRO

9.3.1 Espectro de la temperatura del aire

Los datos de temperatura del aire previamente acondicionados según lo explicado en el Sección 9.2.1 fueron utilizados para el cálculo de los espectros en estaciones sobre la meseta y en el interior de los valles en el rango de frecuencias entre $6.8 \cdot 10^{-4}$ ciclos/h y 30 ciclos/h.

Para la evaluación de los resultados, se compararon los espectros con un modelo markoviano de orden 1. La evaluación de los resultados del espectro de potencia se puede realizar ajustando una hipótesis nula al espectro. En general, si el coeficiente de autocorrelación seriada $r(1)$ difiere de cero las series pueden considerarse afectadas por la persistencia y se debe chequear si los coeficientes de los primeros desplazamientos pueden aproximarse por medio de una relación exponencial. Si este es el caso, el continuo nulo debería asumirse como un proceso markoviano. (Ver Mitchell y otros, 1966). La experiencia muestra que este proceso es el más razonable en los casos en que se involucran series temporales meteorológicas (Mitchell y otros, 1966). Joseph (1973) analizó si las series de temperaturas mínima, máxima y media en Boulder-Colorado (EEUU) estuvieron o no distribuidas aleatoriamente. El análisis reveló que en algunos casos las temperaturas máxima y mínima eran aleatorias, mientras que la temperatura media se adapta a un modelo markoviano de orden uno. De acuerdo con estos resultados, se eligió como hipótesis nula el modelo de persistencia markoviano de orden uno para las series de temperatura y viento.

Los valores de los coeficientes de correlación difirieron significativamente de cero al 95%. Para la decisión se utilizó un test t-Student para la hipótesis que el coeficiente de correlación de la población no difería significativamente de cero. En todos los casos se rechazó la hipótesis nula al 95%. A partir de este resultado, se evaluó el espectro desde el punto de vista de su consistencia con el continuo teórico. Se compararon los valores de cada estimación espectral con el valor del espectro continuo nulo dentro de los límites al 5% y al 95% (Tukey, 1950). Si ninguna de las estimaciones espectrales se desvían una cantidad significativa del continuo nulo, se concluye que el espectro continuo se aproxima al verdadero espectro de la población de la cual nuestra serie es una muestra. Si se encuentran una o más estimaciones espectrales que se desvían significativamente del continuo que tomamos para la comparación se establecen las magnitudes que discrepan y el rango de longitudes de onda involucradas.

El rango de períodos analizados corresponde a fenómenos meteorológicos en las escalas sinóptica y mesometeorológicas (varios días a horas).

De acuerdo a lo presentado en la sección 9.2 se calcularon los espectros y los intervalos de confianza al 5% y al 95% en todos los casos presentados. La Figura 9.1 presenta como ejemplo el espectro de la temperatura del aire de septiembre y octubre de 1989 en Cincos Saltos, los intervalos de confianza y el modelo teórico markoviano de orden 1 con sus respectivos intervalos de confianza. En el resto de las Figuras, esta información es omitida para clarificar los gráficos debido a la densidad de puntos y cercanía de las líneas.

Los análisis espectrales obtenidos presentan por la metodología que se utiliza para su cálculo un resultado con muchos estimadores espectrales en alta frecuencia y pocos en las frecuencias cercanas a cero (períodos cercanos al período fundamental). Para introducir menores incrementos en los valores de baja frecuencia se efectuó el agregado de ceros a la serie hasta completar una potencia de dos. Se verificó que los resultados no se modificaran y los picos se mantuvieran en frecuencias cercanas a las que se presentaban utilizando la cantidad de datos

original. La ventaja de este procedimiento fue una mejor visualización de los resultados en baja frecuencia.

El espaciamiento entre los valores de la transformada discreta de Fourier es $\Delta f = 1/N\Delta t$, cuando se agregan ceros, no se agrega nada a la forma del espectro, pero sin embargo debido a la naturaleza de la fórmula computacional, el espaciamiento entre estimadores cambia a $\Delta f' = 1/((N+N_z)\Delta t)$ donde N_z es la cantidad de ceros agregada. En el análisis debe tenerse en cuenta que el período fundamental ha cambiado. Por lo tanto, en los gráficos espectrales siguientes debe considerarse que ha sido aplicada esta metodología y los períodos fundamentales que se presentan son los períodos fundamentales aumentados. Además debido a la cantidad de estimadores espectrales en alta frecuencia los gráficos presentados incluyen solamente los valores en períodos mayores.

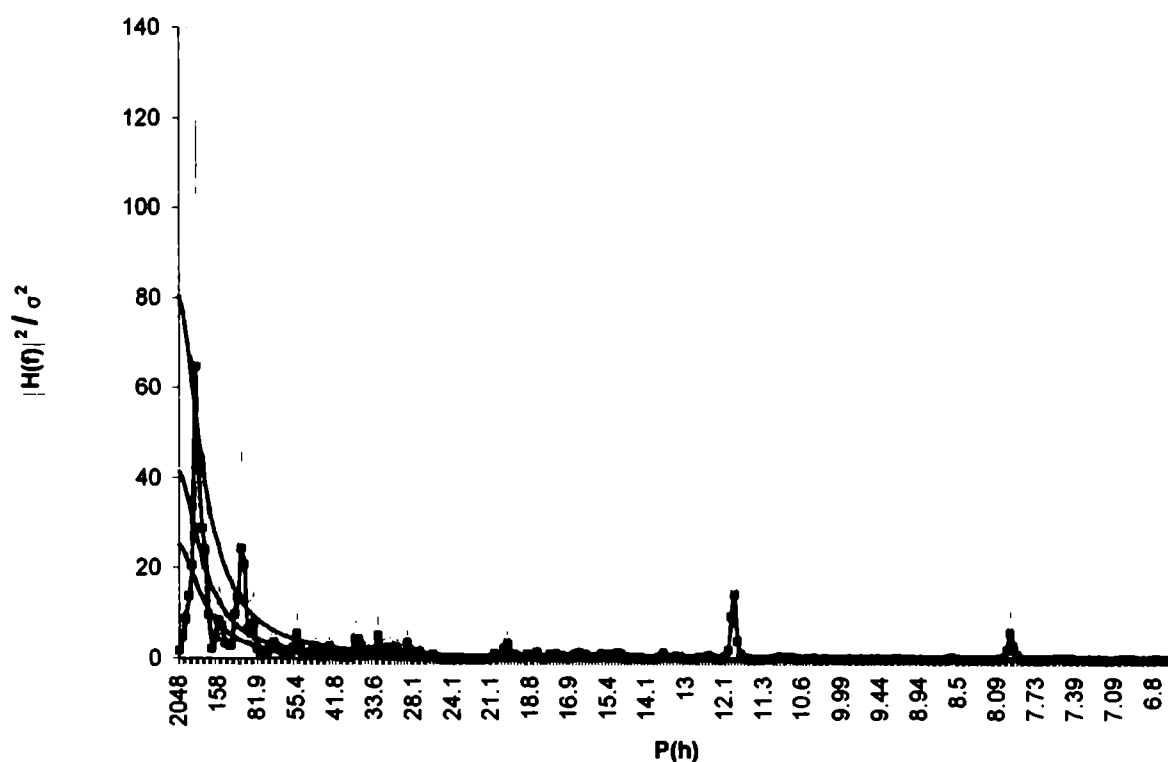


Fig. 9.1: Espectro de la temperatura del aire en Cinco Saltos (septiembre y octubre de 1989) Las líneas anaranjadas representan el error al 95% y 5% de los estimadores del espectro, la línea roja es el espectro teórico considerando un proceso markoviano de orden 1 y las líneas marrones son los intervalos de error del espectro teórico.

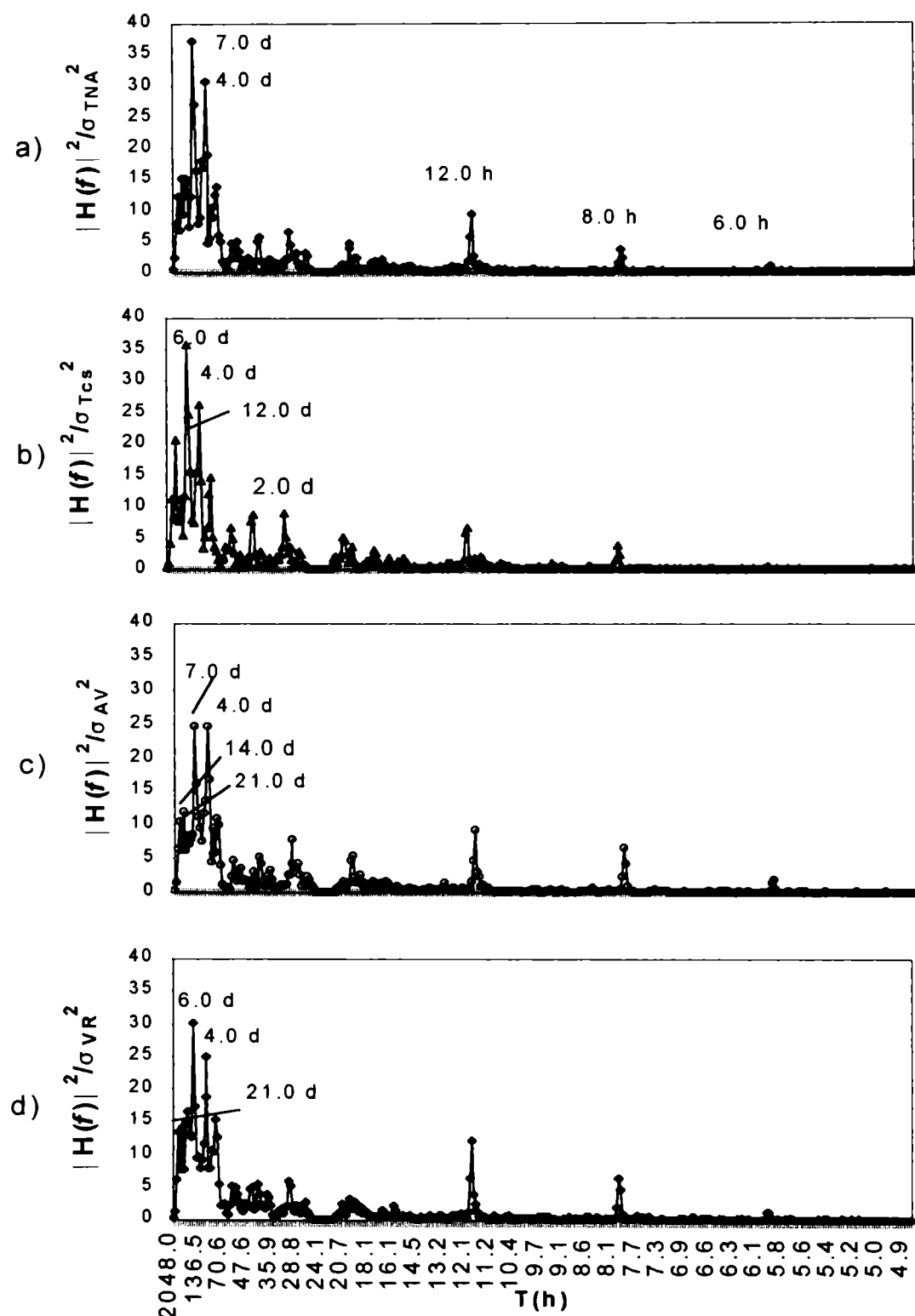


Fig. 9.2: Espectros normalizados de la temperatura del aire en función del período de las fluctuaciones para las estaciones meteorológicas: Neuquén Aero (a), Cinco Saltos (b), Alto Valle (c) y Villa Regina (d), correspondientes a los meses de septiembre y octubre de 1988. (se eliminó la onda de 24 h.)

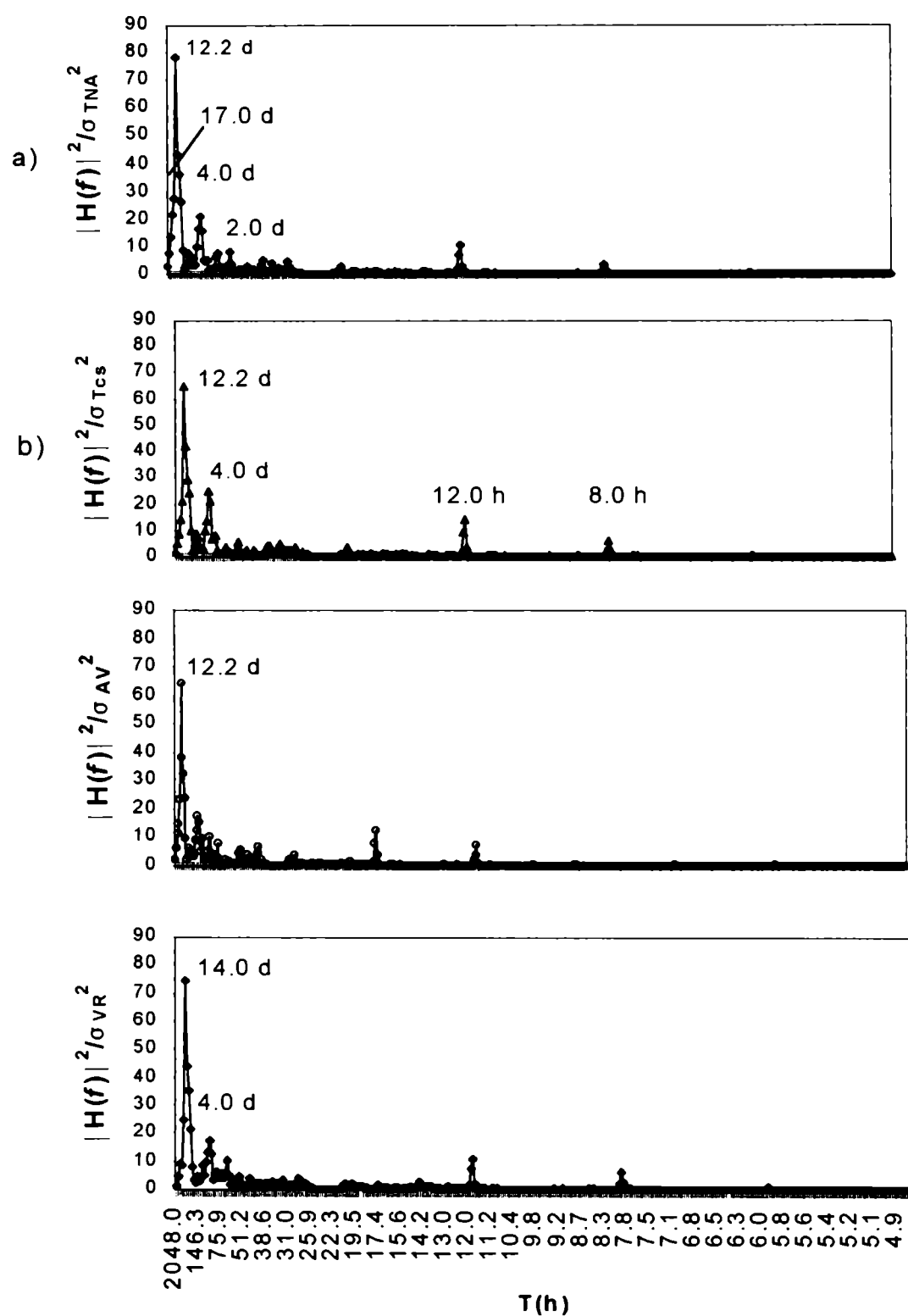


Fig. 9.3: Espectros normalizados de la temperatura del aire en función del período de las fluctuaciones para las estaciones meteorológicas: Neuquén Aero (a), Cinco Saltos (b), Alto Valle (c) y Villa Regina (d), correspondientes a los meses de septiembre y octubre de 1989. (se eliminó la onda de 24 h.)

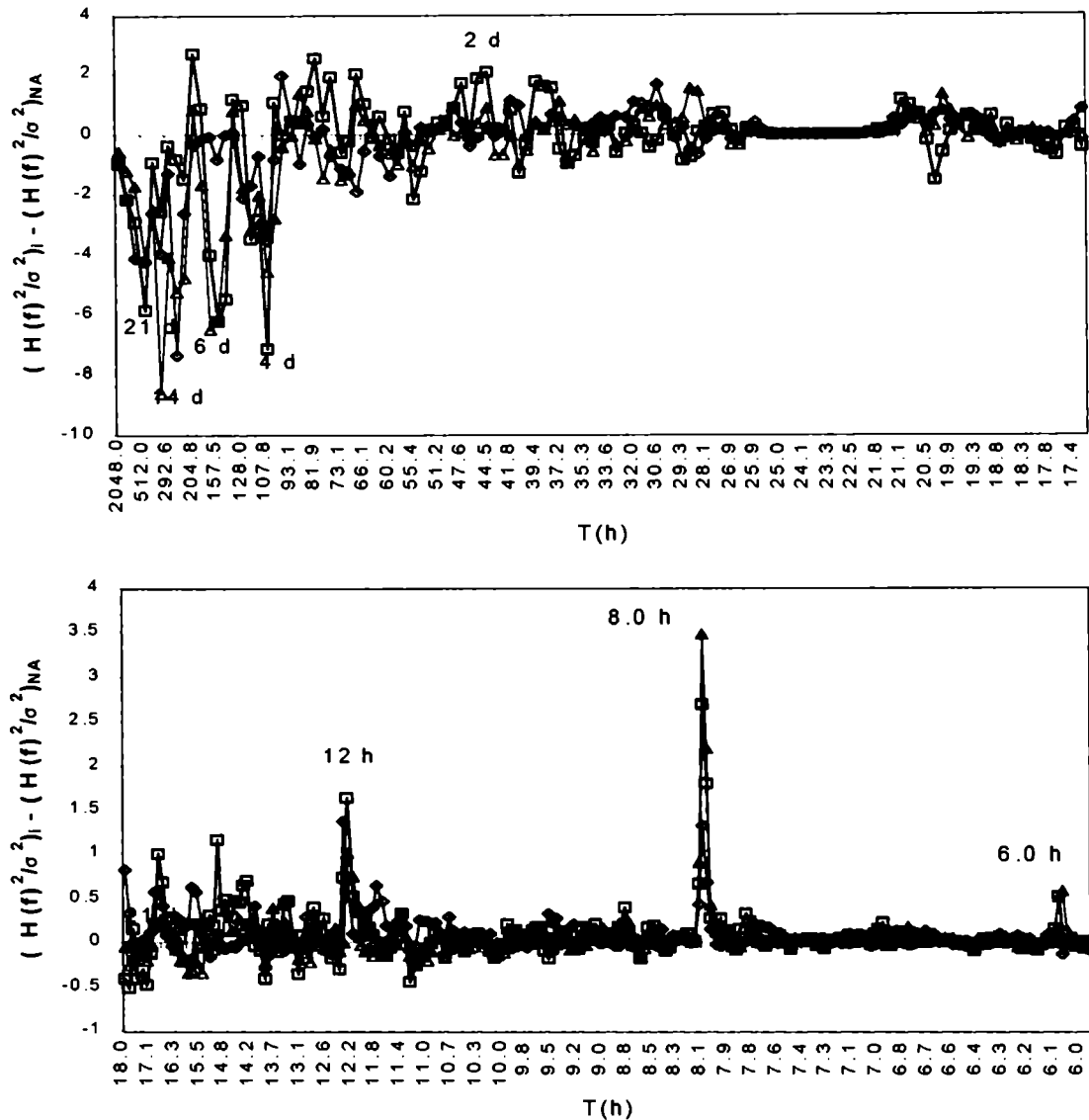


Fig. 9.4: Anomalías del espectro normalizado medio de la temperatura del aire de cada estación (i) (Alto Valle (Δ), Cinco Saltos (\circ) y Villa Regina (\square)) con respecto al de Neuquén Aero (periodos entre 1464 h y 17 h (arriba) y periodos entre 17 h y 6 h (abajo)).

Las Figuras 9.2 y 9.3 presentan los espectros normalizados de la temperatura horaria del aire correspondientes a Neuquén Aero (NA), Cinco Saltos (CS), Alto Valle (AV) y Villa Regina (VR) para los periodos septiembre y octubre de 1988 y 1989, respectivamente. En las Figuras 9.2 y 9.3 fue eliminada la contribución de la onda de 24 h según la metodología descrita en el Sección 9.2.1. La mayor varianza en los espectros de la temperatura horaria del aire es explicada en todas las estaciones por fenómenos con periodos del orden de 17 días en 1989 y entre 12 y 28 días en 1988. Además, en ambos años, se observan máximos en periodos entre 4 y 7 días en todas las estaciones meteorológicas. Estos periodos podrían asociarse con la ocurrencia de ciclogénesis frontales en latitudes medias, y su traslación y maduración hacia latitudes más altas, con ciclólisis en el mínimo de presión circumpolar alrededor de 60°S. Estos aspectos fueron

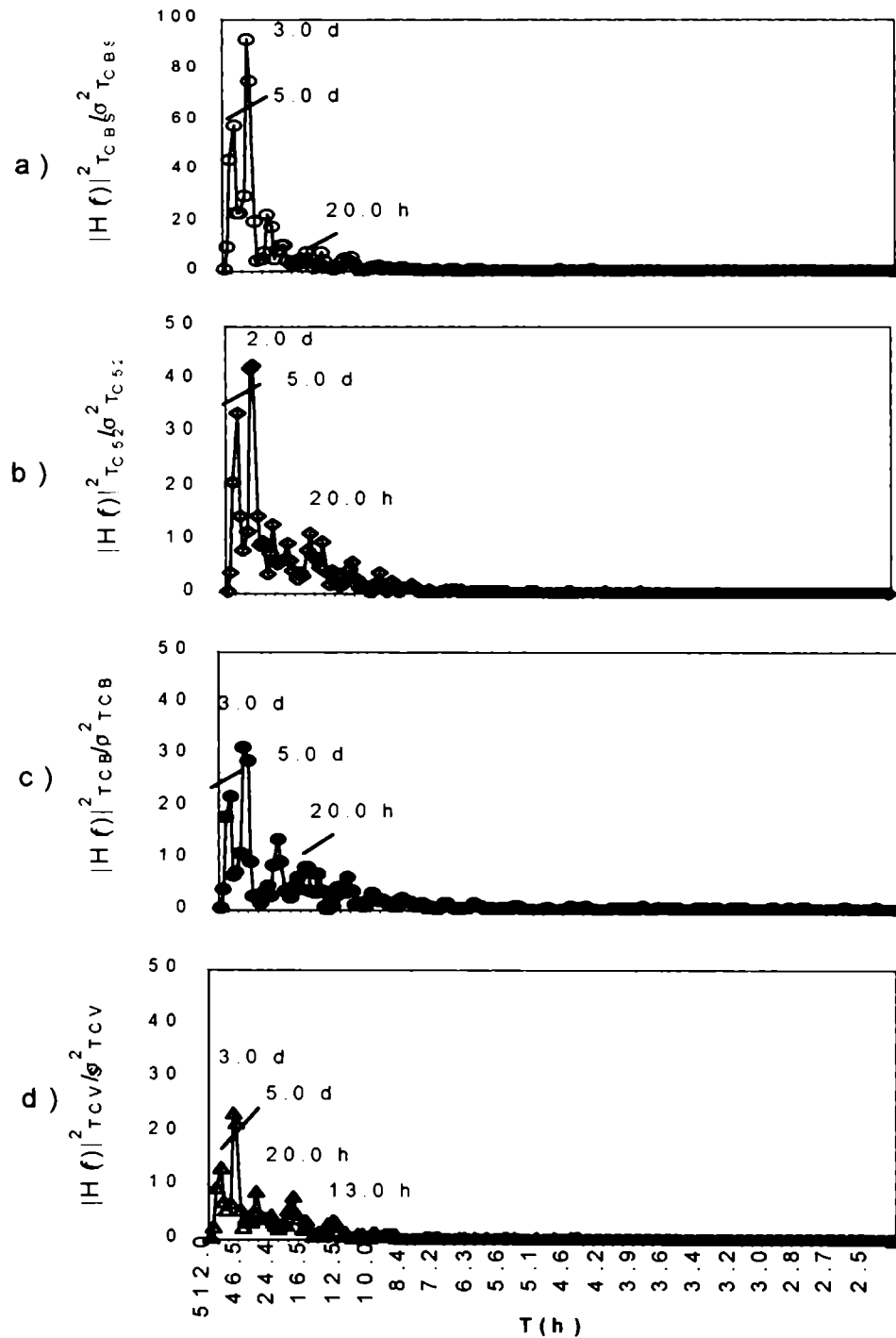


Fig. 9.5: Espectros normalizados de la temperatura del aire en función del período de las fluctuaciones para las estaciones meteorológicas: CBS (a), C52 (b), CBI (c) y CVS (d), correspondientes a los días 1/10/94 al 13/10/94 obtenidas cada 15 min a excepción de CVS en que el intervalo fue de 30 min. (se eliminó la onda de 24 h.)

observados por Carleton (1992) al efectuar una recopilación de la climatología sinóptica de

latitudes medias y altas del Hemisferio Sur. Los espectros correspondientes a frecuencias mayores presentan características generales similares, notándose picos significativos al 95 % en todas la estaciones meteorológicas para periodos de 2 días, 12 h y 8 h en las muestras de los dos años.

Los máximos en periodos de 12 h, 8 h y 4 h corresponden a armónicos (múltiplos enteros) de la frecuencia de la onda diaria. La onda diaria no es una oscilación perfectamente sinusoidal, eso provoca, que la energía concentrada en ella se vea reflejada en los armónicos.

Van der Hoven (1955) observó en el espectro de temperatura del aire un máximo en 12 h que fue atribuido a fluctuaciones muestrales.

La Figura 9.4 presenta la desviación de los promedios del espectro normalizado de temperatura de los dos años considerados en cada estación (Alto Valle, Cinco Saltos y Villa Regina) con respecto al valor medio de la estación Neuquén Aero. Se puede notar que, en todas las estaciones meteorológicas se presentan anomalías negativas en bajas frecuencias, mientras que en las estaciones meteorológicas Alto Valle y Villa Regina, se presentan las mayores anomalías positivas, especialmente en periodos de 12 h y 8 h insinuando una mayor asimetría de la onda diaria. El análisis de series con mayor cantidad de datos podría atenuar este efecto (Chatfield, 1980). Las fluctuaciones con periodos de 8 h muestran las mayores diferencias entre estaciones meteorológicas siendo máximas en Alto Valle. Este efecto podría estar asociado a diferencias en las fluctuaciones diarias asociadas a la ubicación de las estaciones en puntos con distinta incidencia de radiación solar.

La disposición de las estaciones meteorológicas en la zona de chacras, a excepción de Neuquén Aero podría influenciar en el hecho de que las oscilaciones con periodos mayores representen un menor valor de varianza y las frecuencias mayores muestren un mayor valor relativo en las estaciones en el interior del valle debido al hecho ya remarcado en el Capítulo 8 de que la situación en escala sinóptica es influenciada por la presencia del obstáculo.

Para realizar un análisis más detallado del comportamiento de las series de temperatura del aire en los tres valles (Río Limay, Río Neuquén y Río Negro), se incorporó información obtenida cada 15 min y cada 1 min en distintos puntos ubicados en el interior de cada valle.

Tabla 9.iii: Densidades espectrales normalizadas de la temperatura del aire para los periodos que presentan máximos en C52, CBI, CBS y CVS entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

| Densidad Espectral Normalizada | | | | |
|--------------------------------|-------|------|-------|------|
| Período | C52 | CBI | CBS | CVS |
| 7 d | 27.2 | 22.1 | 50.8 | 10.0 |
| 3 d | 106.5 | 90.1 | 238.9 | 56.7 |
| 19 h | 12.9 | 13.3 | 6.6 | 7.0 |
| 13 h | 5.5 | 7.3 | 7.1 | 4.3 |
| 6 h | 1.3 | 2.0 | 0.9 | 0.6 |

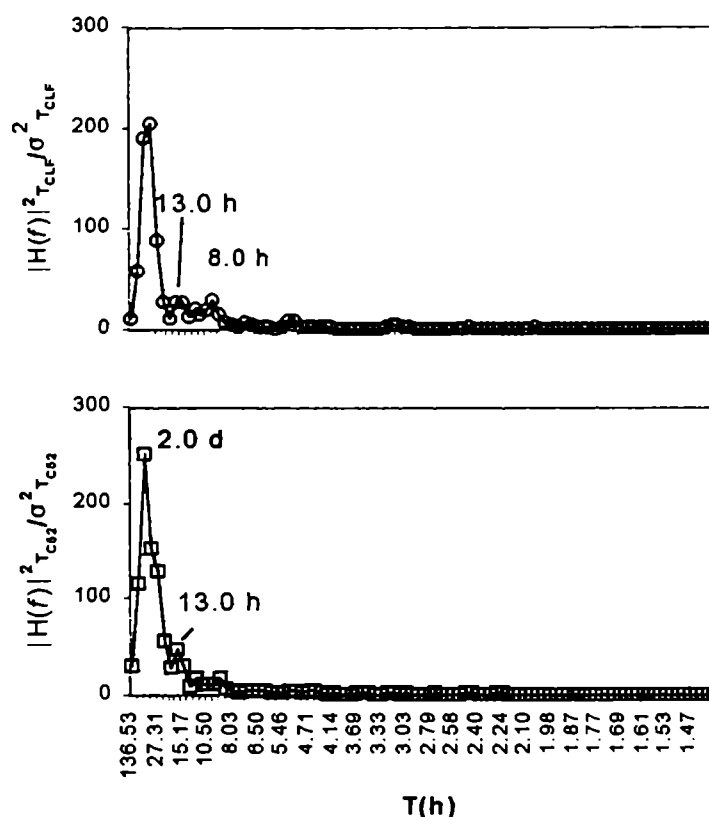


Fig. 9.6: Espectros normalizados de la temperatura del aire en CLF (arriba) entre el 13/10/93 y el 17/10/93 y en C52 (abajo) entre el 1/9/93 y el 5/9/93, con datos obtenidos cada 1 min. (Se eliminó la onda de 24 h)

En este aspecto, Prakash y otros (1993), calcularon el espectro de temperatura a partir de promedios cada 1 min en 8 h, promedios cada 1 h de datos de 6 meses y promedios mensuales de datos de 20 años cubriendo las frecuencias comprendidas entre $3.47 \cdot 10^{-5}$ Hz y $3.86 \cdot 10^{-7}$ Hz., a partir de esos datos encontraron como características salientes en el espectro: un pico anual, uno semianual, un pico en períodos de 13 días, el máximo diurno y dos máximos de 6 y 3 min, que corresponderían a las oscilaciones originadas por efectos térmicos de la atmósfera. En estaciones meteorológicas ubicadas en latitudes medias reportaron además un pico en 4 días de manera similar a lo encontrado en los dos períodos analizados para la zona del Alto Valle. Este resultado presenta la utilización de las técnicas espectrales en la discriminación de fenómenos en escalas más pequeñas, como podría ser el caso de los valles de los ríos Limay, Neuquén y Negro.

En todas las series analizadas se obtuvieron valores máximos en la frecuencia diurna (este efecto no se muestra en las Figuras).

La Figura 9.5 presenta el análisis espectral normalizado de la temperatura del aire en las estaciones Allen (C52), Centenario Barda (CB) en dos niveles, a 3 m (CBI) y a 15 m (CBS) de altura y Colonia Valentina Sur (CVS) mencionadas en la Tabla 4.i, ubicadas en los valles del Río Negro, del Río Neuquén y del Río Limay, respectivamente. Los datos fueron obtenidos con un

intervalo entre observaciones de 15 minutos a excepción de CVS en donde el intervalo fue de 30 minutos. A cada serie se le eliminó la tendencia lineal, y la contribución de la onda diaria a la varianza. En todas las estaciones la posición de los máximos espectrales es similar, pero los valores de energía representados por cada frecuencia disminuyen hacia el interior del valle en las bajas frecuencias y son mayores hacia el interior del valle en los rangos de alta frecuencia (ver Tabla 9.iii).

No se observaron contribuciones importantes al espectro de la temperatura del aire en periodos menores a 8 h. Además, los máximos de baja frecuencia presentan mayor energía en la estación CB, ubicada sobre la meseta donde el paisaje corresponde a suelos arenosos con poca vegetación.

Los valores de la varianza total son prácticamente similares en C52 y CVS ($\sigma^2=25.5\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ y $\sigma^2=23.9\text{ }^{\circ}\text{C}^2$), mientras que en Centenario Barda la varianza en el nivel superior es $16.7\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ y en el inferior $48.6\text{ }^{\circ}\text{C}^2$. Si se comparan los valores de la densidad espectral se observa que son menores

Tabla 9.iv: Densidades espectrales normalizadas de la temperatura del aire para los periodos que presentan máximos en C52 (1 al 5 de septiembre de 1993), y CLF (13 al 17 de octubre de 1993).

| Período | Densidad Espectral Normalizada | |
|-------------|--------------------------------|-------|
| | C52 | CLF |
| 3 d | 250.1 | 189.4 |
| 2 d | 151.2 | 204.2 |
| 19 h | 47.2 | 27.2 |
| 8 h | 5.1 | 5.3 |
| 6 h | 9.2 | 2.0 |

en CVS, esto podría atribuirse a que esos datos fueron obtenidos con un intervalo de 30 minutos, a diferencia de las otras estaciones en que se obtuvieron cada 15 minutos.

Un análisis exploratorio realizado a los datos de CVS a los que previamente se le incorporaron observaciones interpoladas de manera que el intervalo fuera cada *15 minutos*, dio como resultado valores del espectro en cada frecuencia comparables a las otras estaciones, esto indicaría que los menores valores de energía que se presentan en CVS frente a las otras estaciones para cada frecuencia, se deberían a que las observaciones se obtuvieron con intervalos temporales diferentes.

En CB, se contaba con datos de temperatura a 3 m y 15 m sobre el nivel del suelo. En la Figura 9.5 se observa que si bien varía la energía total entre el espectro de la temperatura del aire a 3 m y a 15 m en CB (es mayor en CBS), los máximos se mantienen en las mismas frecuencias.

La Figura 9.6 muestra el espectro de la temperatura del aire de las estaciones CLF entre el 13/10/93 y el 17/10/93 y C52 entre el 1/9/93 y el 5/9/93. Los datos utilizados fueron obtenidos a intervalos de 1 min. Se presentan máximos espectrales en periodos entre 2 y 3 días, en 19 h y

en 8 y 6 h. (ver Tabla 9.iv). Rusticucci y Vargas (1989) identifican las variaciones de temperatura cada 6 h en Buenos Aires puntualizando que, en general la respuesta de la atmósfera a una temperatura extrema (más fría o más caliente que la media) es la de tender al estado medio en las próximas 6 h, excepto en el intervalo de tiempo entre las 20:00 h y las 02:00 h en que ese estado se intensifica.

En las series de datos correspondientes al período 1 a 13 de octubre de 1994 no se presentan los máximos marcados en los armónicos de la onda diaria, presentándose solamente un máximo en períodos de 13 h.

En las series de temperatura del aire de C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993 y de CLF entre el 13 y el 17 de octubre de 1993 se presenta también el máximo en períodos de 8 h (ver Tabla 9.iv).

El hecho de que las muestras sean distintas, obtenidas mediante instrumental diferente y en períodos y lugares distintos, sugiere que el máximo en 8 h podría deberse a fluctuaciones de la temperatura del aire y no a fluctuaciones muestrales.

9.3.2 Espectro de la intensidad del viento:

Cuando se analiza el movimiento atmosférico se intenta separar las características del mismo comprendiendo distintas escalas, de manera que se pueda concentrar la atención en la porción del espectro de interés.

Una variable meteorológica determinada (ϕ) se puede descomponer en una parte ($\bar{\phi}$) que representa el promedio temporal o espacial (parte determinística) y una parte fluctuante (ϕ') que representa el apartamiento de los valores medios (parte aleatoria). La separación entre el movimiento medio y el turbulento depende del dominio temporal para el que se definan los promedios, que tendrá asociado una escala característica. Toda perturbación menor es eliminada por el promedio y contribuye al movimiento turbulento. La escala temporal en la que se efectúa un promedio no debe ser cercana a la escala típica de ningún torbellino. El espectro turbulento de las variables meteorológicas describe la contribución de las oscilaciones o perturbaciones con distintos períodos a la varianza de las variables atmosféricas.

Los promedios pueden ser aplicados de diversas maneras. Para el modelado de la evolución de los promedios o de las estadísticas de las fluctuaciones es necesario el uso de las ecuaciones de movimiento, por lo que los esquemas de promediado deben ser compatibles con dichas ecuaciones. Los promedios deben tener las siguientes características (ver Panofsky y Dutton, 1984):

- * Deben ser diferenciables hasta el orden que lo requieran las ecuaciones de movimiento.
- * Los procedimientos de promediado deben seguir los postulados de Reynolds.
- * El promedio de las fluctuaciones debe ser igual a cero.
- * La correlación entre los valores medios y las fluctuaciones debe ser pequeña.
- * El promedio de un valor medio debe coincidir con el valor medio.

Como se mencionó anteriormente, la velocidad del viento puede ser considerada compuesta por una componente estacionaria y una componente fluctuante vinculada a las ráfagas y calmas. En todo estudio del viento y sus efectos, las componentes son consideradas separadamente.

La componente estacionaria se considera como el promedio temporal durante un

determinado período de tiempo. Las velocidades medias pueden ser calculadas durante varios días a partir de los datos meteorológicos observados.

Las características básicas de la turbulencia no pueden ser completamente explicadas teóricamente debido a su condición de no-linealidad. Por ello, en diversas aplicaciones se utilizan conjuntamente las ecuaciones del movimiento e información empírica sobre las propiedades de la turbulencia.

La turbulencia actúa presionando estructuras, provocando mezcla de aire con diferentes propiedades y creando flujos de propiedades. Los flujos turbulentos de cantidad de movimiento, calor y humedad afectan las condiciones cercanas a la superficie y pueden producir entre otros aspectos cambios propicios o nocivos para los requerimientos agrícolas.

El espectro correspondiente a la intensidad del viento permite obtener la distribución de la energía cinética en diferentes períodos o longitudes de onda y se denomina *espectro de potencia*.

La energía cinética de la atmósfera no es uniforme en todas las longitudes de onda, sino que tiene ciertas escalas preferidas con baches (*gaps*) entre ellas.

Los datos considerados en este trabajo, pueden describir una parte del espectro de los fenómenos atmosféricos (ver Necco, 1980):

- * *Oscilaciones micrometeorológicas*: En esta banda contribuye la turbulencia en la pequeña escala. En la capa límite atmosférica su energía tiene un máximo cuando el período es del orden de 1 min. Esto corresponde a inhomogeneidades turbulentas horizontales con una longitud característica de 600 m. La frecuencia de las observaciones de los datos analizados en este trabajo, no permite observar esta parte del espectro.

- * *Oscilaciones mesometeorológicas*: Corresponden a períodos de 1 min a 1 h. En esta banda las oscilaciones son menos frecuentes, por lo que en el espectro se presenta un mínimo de energía en este intervalo.

- * *Oscilaciones sinópticas*: Tienen períodos de algunas horas a varios días. Incluye las fluctuaciones diurnas, por lo que en esta categoría se encontrarían la mayoría de los fenómenos incluidos en la descripción.

Los máximos correspondiente a los períodos menores fueron detectados bajo condiciones de sistemas de tiempo severo en la mesoescala (Van der Hoven, 1956).

- * *inestabilidades barotrópicas y baroclínicas*, asociadas a gradientes horizontales de viento y temperatura. Estas producen movimientos cuasi horizontales en las escalas con longitudes de onda típica del orden de miles de kilómetros.

- * *inestabilidades de Kelvin-Helmholtz* debidas a la cortante vertical del viento, que producen torbellinos con longitudes de onda del orden del desplazamiento vertical en el cual el viento varía significativamente. Su escala es del orden de un kilómetro, salvo cerca del suelo. Si la situación presenta inestabilidad hidrostática, se producen torbellinos en escala similar a los debidos a la inestabilidad por cortante.

Existen dos dominios con longitudes de onda distintas donde se desarrollan los torbellinos (dominio de 6 a 7 días y dominio con períodos de minutos), lo que explica el mínimo mesometeorológico (Necco, 1980). El mínimo en el espectro de potencias, separa los movimientos tridimensionales que ocurren en escalas pequeñas de los bi-dimensionales en escalas grandes. Cerca del suelo, aparecen máximos espectrales debido a fenómenos con ciclos diurnos o semidiurnos.

Van der Hoven (1956) calculó el espectro de la velocidad horizontal del viento para un

amplio rango de frecuencias (entre 0.0007 y 900 ciclos h^{-1}) uniendo varias porciones del espectro. El análisis presentó dos picos de energía, uno en períodos de 4 días y el segundo en períodos de 1 minuto. Para distintas condiciones de terreno y bajo condiciones sinópticas diferentes, se presentó entre ambos máximos un bache amplio, centrado en frecuencias de 1 a 10 ciclos por hora. Esto indica el efecto selectivo de las oscilaciones turbulentas sobre el campo de movimiento atmosférico.

La Figura 9.7 presenta los espectros normalizados de energía cinética en NA en septiembre y octubre de 1988 y 1989. En el análisis del espectro de la intensidad de viento en Neuquén Aero, se pueden detectar máximos de varianza para fluctuaciones en períodos de 28 días, similar a lo observado por Hartmann (1974) en su análisis de datos provenientes de radiosondeos realizados en latitudes medias. Se presentan además máximos para períodos entre 2 y 4 días, los que podrían asociarse a relaciones de fase características de las ondas baroclínicas inestables observadas por Hartmann (1974) principalmente en períodos entre 4 y 5 días pero en los diferentes casos analizados, se presentan entre 2 ½ d y 7 d.

El análisis espectral de la intensidad de viento (Figura 9.7) en la estación Neuquén Aero, para septiembre y octubre de 1988 y 1989, presenta un pico importante en períodos de 24 h. Se observa un importante ciclo diurno en la energía cinética, de manera similar a lo encontrado por

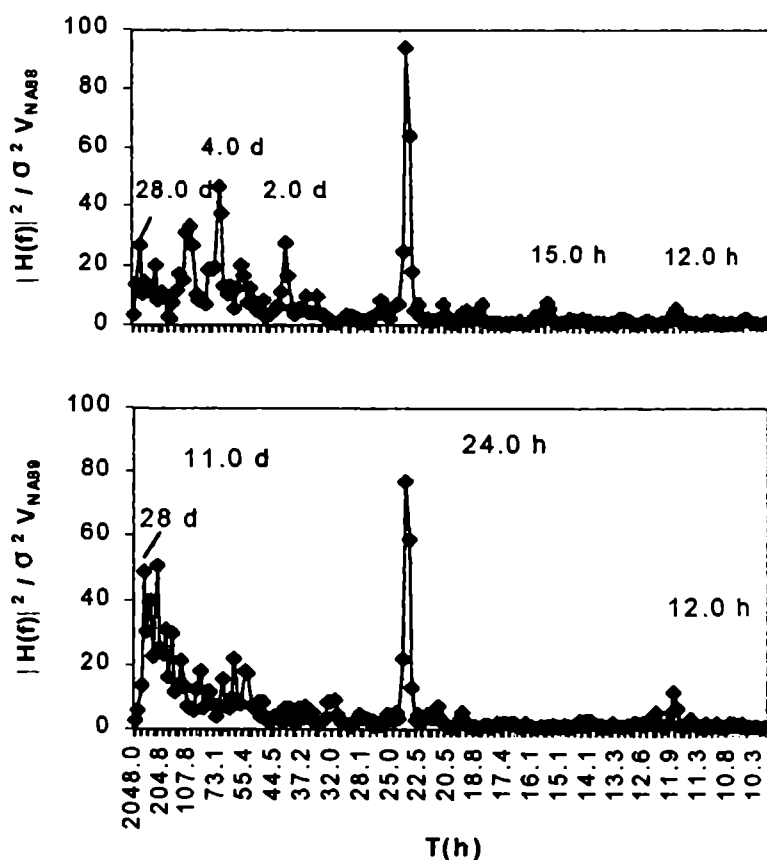


Fig. 9.7: Espectros normalizados de la intensidad del viento en Neuquén Aero (NA), septiembre y octubre de 1988 (arriba) y 1989 (abajo).

Oort y Taylor (1969). Es necesario señalar que en este caso, el valor relativo de energía es relativamente menor que el pico similar que se observó en las series de temperatura y no entorpece la apreciación de los valores correspondientes a otros períodos. En 1989 se presenta claramente un máximo en el período de 12 días que se insinúa en 1988.

En general, los resultados encontrados dentro de los rangos de frecuencia estudiados concuerdan con los obtenidos por Van der Hoven (1956) y Oort y Taylor(1969). Oort y Taylor (1969) analizaron el espectro de la velocidad del viento en 6 estaciones meteorológicas de EE.UU. utilizando datos de superficie. Calcularon el espectro mediante la aplicación del método de la transformada rápida de Fourier para frecuencias entre 1 ciclo /2 h y 1 ciclo/10 años. El espectro de energía cinética mostró dos picos significativos en períodos de 24 h y 1 año.

La densidad espectral, en general decrece a medida que aumenta la frecuencia. Chiu (1973) calculó los espectros de velocidad del viento en 11 estaciones meteorológicas en EE.UU. para distintos niveles en la atmósfera hasta 50 hPa, encontrando que el decrecimiento de la densidad espectral con la frecuencia era similar en todos los niveles de una estación con excepción de algunos casos en el nivel de 950 hPa en los cuales se observó una pequeña variación de la densidad espectral con la frecuencia. La proximidad del suelo tiende a inhibir el crecimiento de torbellinos grandes y propicia los fenómenos en escalas espaciales menores, con menor tiempo de vida y menos persistencia. Sin embargo, se encontró que una energía significativa estaba contenida en períodos entre 2 y 7 días, los cuales fueron asociados al pasaje de ciclones y anticiclones.

Tabla 9.v: Densidades espectrales normalizadas de la intensidad del viento para los períodos que presentan máximos en C52, CVS y CB entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

| Período | Densidad Espectral normalizada intensidad del viento | | |
|---------|---|------|-------|
| | C52 | CVS | CB |
| 5 d | 93.4 | 17.1 | 86.2 |
| 3 d | 64.7 | 39.7 | 103.4 |
| 30 h | 20.9 | 12.4 | 34.2 |
| 24 h | 44.7 | 39.3 | 49.3 |
| 19-20 h | 32.3 | 14.8 | 28.4 |
| 12 h | 13.3 | 2.7 | 18.2 |
| 8 h | 12.2 | 3.8 | 5.3 |
| 6 h | 4.8 | 3.8 | 5.8 |

En la Figura 9.8 se presentan los espectros normalizados de la intensidad del viento correspondientes a C52, y CBS con información observada cada 15 minutos y a CVS con datos obtenidos cada 30 minutos entre los días 1/10/94 y el 13/10/94. La Tabla 9.v presenta los valores de las densidades espectrales normalizadas de cada uno de los máximos presentados en la Figura

9.8.

En los máximos correspondientes a los mayores períodos, el comportamiento de la estación C52 es invertido con respecto a CVS y CB. C52 presenta el mayor valor de energía, representado por fluctuaciones con período de 5 días, mientras que CVS y CB presentan el mayor valor en fluctuaciones con períodos de 3 d.

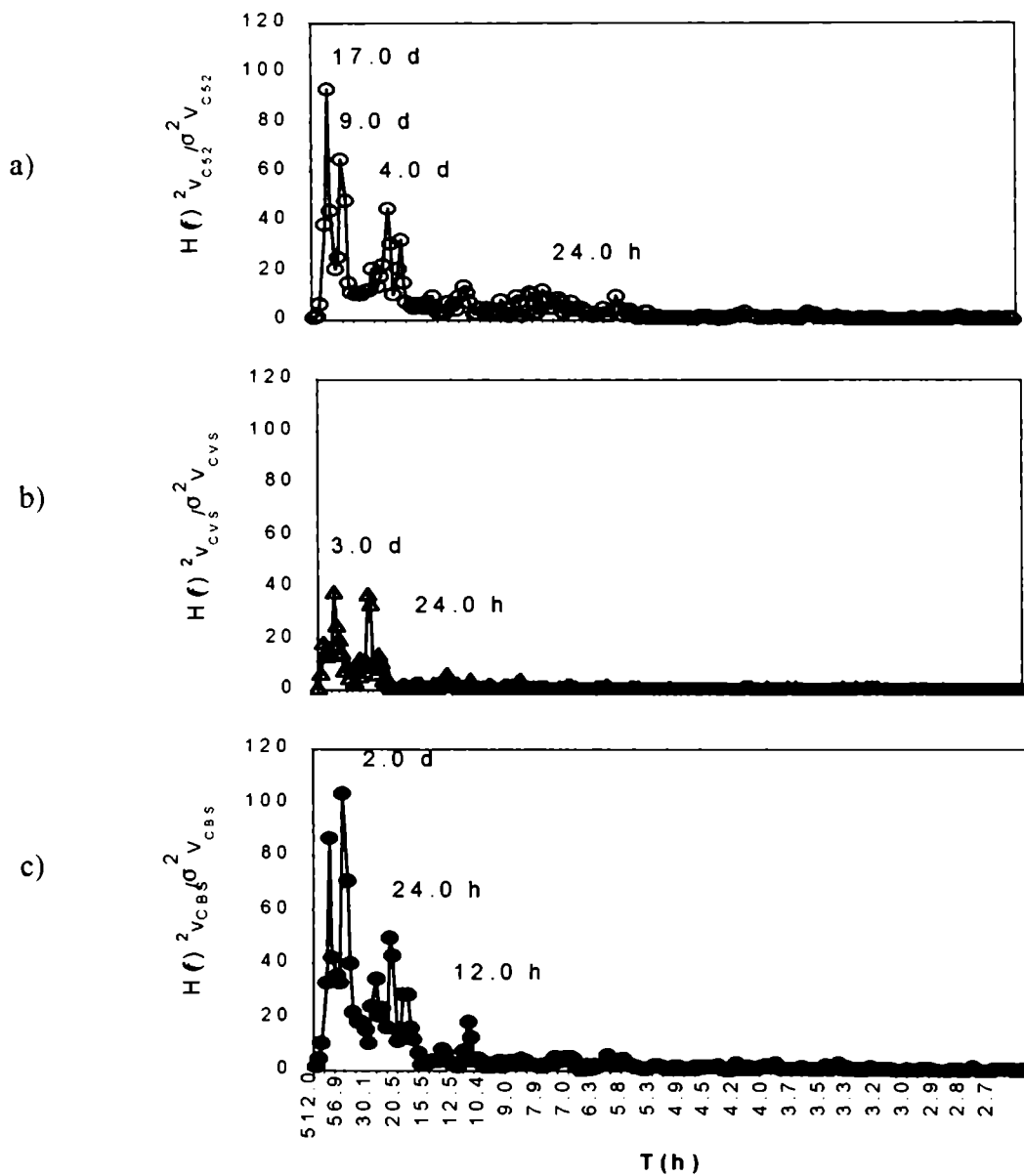


Fig. 9.8: Espectros normalizados de la velocidad del viento en función del período de las fluctuaciones para las estaciones meteorológicas: C52 (a), CVS (b), y CBS (c), correspondientes a los días 1/10/94 al 13/10/94 obtenidos con datos observados cada 15 min a excepción de CVS en que el intervalo fue de 30 min.

CVS presenta todos los máximos con menores valores de energía posiblemente debido a que el intervalo de observación fue de 30 minutos a diferencia de las otras estaciones en que los datos fueron cada 15 minutos. La fluctuación diurna, que aparecía apenas perceptible en el análisis muestral del Capítulo 8, se pone de manifiesto en la intensidad del viento, como se puede notar en la Tabla 9.v.

De manera similar a lo presentado en el espectro de la temperatura del aire, los datos de CVS se dispusieron, mediante interpolación a intervalos de 15 min. En este análisis se obtuvieron valores del espectro en cada frecuencia comparables a las otras estaciones, por lo que los menores valores de energía que se presentan en CVS frente a las otras estaciones en cada frecuencia se deberían a la diferencia en el intervalo entre observaciones.

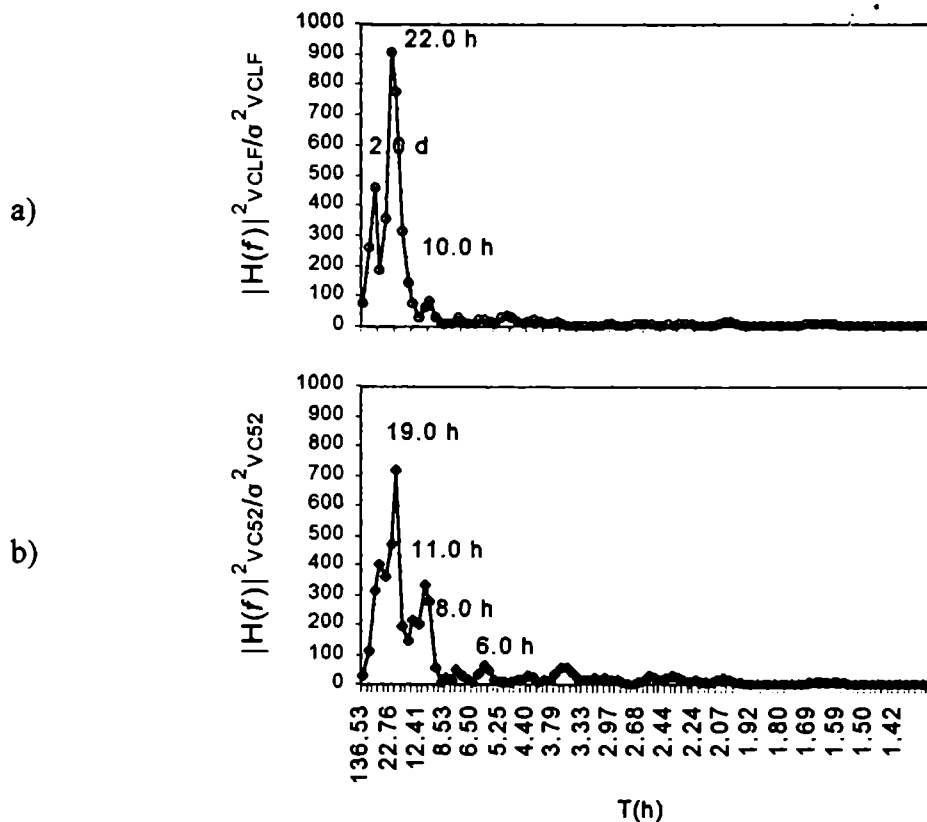


Fig. 9.9: Espectros normalizados de la intensidad del viento en CLF (a) entre el 13/10/93 al 17/10/93 y en C52 (b) entre el 1/9/93 y el 5/9/93 para datos observados cada 1 minuto .

Los espectros normalizados de la intensidad del viento en CLF entre el 1/9/93 y el 5/9/93 y en C52 entre 13/10/93 y el 17/10/93 con información obtenida cada 1 minuto se presenta en la Figura 9.9. En ambos casos los períodos cercanos a la onda diaria son es importante. El máximo correspondiente al período de 2 días es más pronunciado en CLF, y en C52 se aprecia además un máximo en el período de 11 h.

9.4. ESPECTROS DE LAS COMPONENTES U Y V DE LA INTENSIDAD DEL VIENTO

Componentes u y v del viento

El análisis de la velocidad del aire ($\bar{V} = (u, v, w)$) se realizó estudiando sus componentes horizontales en las direcciones: Oeste- Este (x) y Sur-Norte (y) de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} u &= |V| \sin\left(\frac{D\pi}{180}\right) \\ v &= |V| \cos\left(\frac{D\pi}{180}\right) \end{aligned} \tag{9.3}$$

donde u es la componente en la dirección Oeste - Este (x) y v es la componente en la dirección Sur - Norte (y), V (m/s) es la intensidad del viento y D es la dirección del viento horizontal.

La elección de los ejes de descomposición de la intensidad del viento, se hizo teniendo en cuenta la dirección del eje del Alto Valle del Río Negro (WNW-ESE), que coincide aproximadamente con la dirección de los vientos del W predominantes en estas latitudes (Fig 5.6). Por lo tanto, u es la componente zonal y v la componente meridional.

La Figura 9.10 presenta los espectros normalizados de las componentes u y v de la intensidad horaria del viento en Neuquén Aero en septiembre y octubre de 1988 y 1989.

El espectro de la componente v presenta un comportamiento más fluctuante que el de u con máximos en periodos de 11 a 17 días y de 2 a 3 días. También presenta máximos en periodos de 12 h y 8 h. Los picos, muchas veces pueden deberse a fluctuaciones muestrales, por lo que es importante comparar los valores correspondientes a varios periodos y estaciones meteorológicas.

El espectro de la componente u presenta máximos en periodos entre 21 y 28 días, 4 días y 19 h. Por lo tanto, se encuentra que en el caso de la componente u el máximo de onda larga se corre hacia periodos mayores respecto de la componente v. El periodo cercano a 4 días podría ser explicado por la presencia de ondas baroclínicas, que resultan de las fluctuaciones en la velocidad del viento debido al pasaje de sistemas de presión en escala sinóptica.

Además, u representa un mayor porcentaje de la varianza del viento (ver Figura 9.10), coincidiendo con el hecho de que las mayores frecuencias se presentan en la dirección Oeste, alineado con el eje del valle, que fue considerado en el cálculo de las componentes.

La varianza de la componente zonal del viento es aproximadamente 4 veces la varianza de la componente meridional en el caso de las series horarias estudiadas.

Zangvil (1977) encontró que la mayoría de la energía de la componente meridional se encuentra en periodos entre 3 y 10 días con picos significativos diurnos y semidiurnos. En el caso de la componente zonal el comportamiento encontrado fue similar con el agregado de un pico en periodos mayores a 30 días.

El análisis de los espectros normalizados de las componentes u y v de las estaciones meteorológicas C52, CVS y CBS correspondiente al periodo comprendido entre el 1/10/94 y el

13/10/94, utilizando observaciones cada 15 minutos comprende un rango de frecuencias mayores que en el caso de los datos horarios (ver Figura 9.11).

Los mayores valores de energía cinética se observan sobre la barda, disminuyendo en el interior de los valles (ver Tabla 9.vi), debido a la presencia de la topografía en forma de escalón que provoca que el valle se encuentre "protegido".

De manera similar a los análisis anteriores, la diferencia en el intervalo de obtención de

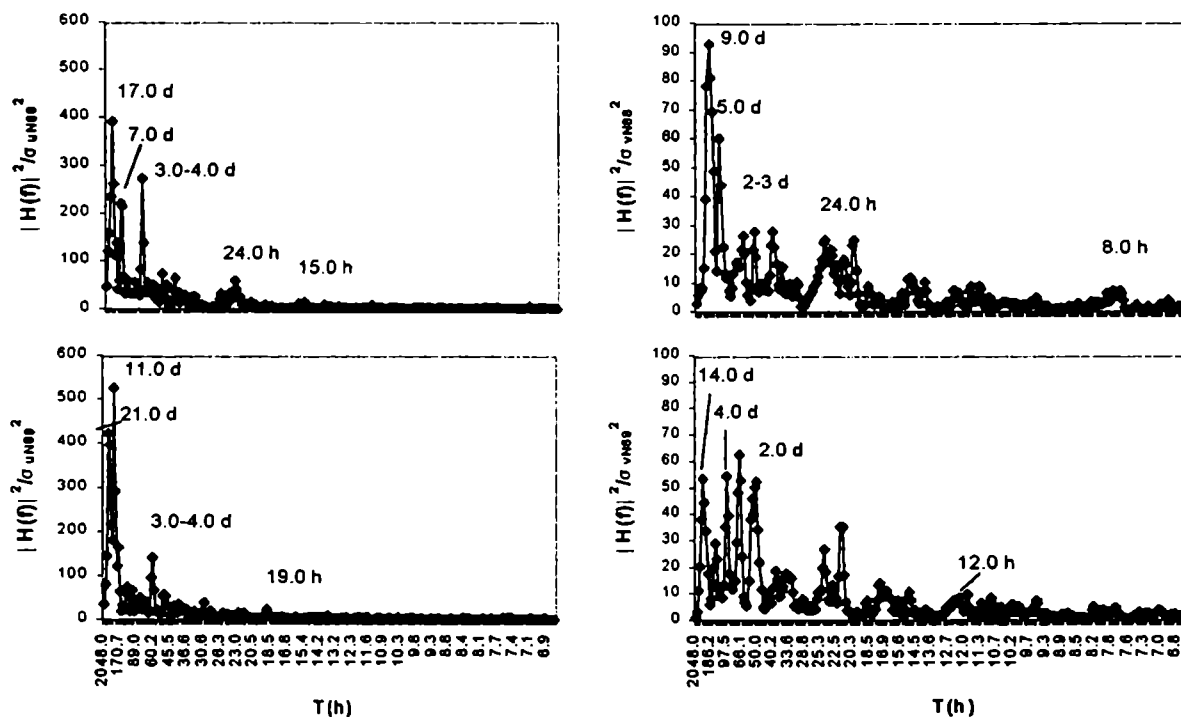


Fig. 9.10: Espectros normalizados de las componentes u (derecha) y v (izquierda) de la intensidad del viento en función del periodo de las fluctuaciones en Neuquén Aero, para septiembre y octubre de 1988 (izquierda) y 1989 (derecha).

datos provoca que los menores valores de energía cinética se presenten en CVS en el valle del río Limay tanto en la componente u como en la componente v. La componente v presenta la energía repartida en distintas frecuencias, mostrando un comportamiento más turbulento. Esto podría deberse al hecho de que representa la componente de la velocidad transversal al valle, con forma de escalón (ver Figura 3.4), que genera torbellinos. En el caso de C52 se observan máximos diferenciados (Figura 9.11) en periodos de 8 h y 20 h y entre 4 y 6 días. La componente u del viento concentra mayor energía en CBS, y valores similares en las estaciones meteorológicas ubicadas en el interior del valle. Las fluctuaciones que explican la mayor parte de la energía corresponden a frecuencias más bajas.

En la Figura 9.12 se muestra el espectro de las componentes u y v de la intensidad del viento obtenido con datos observados cada un minuto en CLF entre el 13/10/93 y el 17/10/93 y en C52 entre el 1/9/93 y el 5/9/93. No se observan máximos en alta frecuencia.

En CLF, los espectros de las componentes u y v son similares, con un máximo en los

períodos de 2.8 días y cercanos a 18 h. En C52 sobresale un máximo similar en las frecuencias más bajas y un máximo para periodos de 15 h. Se detecta además un máximo secundario correspondiente a 3 h de periodo.

Como se pudo observar a partir de los datos climáticos (ver Capítulo 5), la presencia del valle produce una conducción del viento en la dirección de su eje, puesta de manifiesto en la mayor energía concentrada en la componente a lo largo del valle (u).

La Tabla 9.vi presenta la densidad espectral normalizada de la componente u del viento en los periodos en que se presentan máximos. En CB se observan los mayores valores de energía cinética en los periodos mayores (5 y 3 días). En C52 se presenta el mayor valor de energía cinética asociada al ciclo diurno. Este efecto ya fue observado en el análisis de las rosas de viento (ver Capítulo 8). En el espectro de la componente u del viento se presentan máximos en periodos cercanos a 6 y 8 h.

En la Tabla 9.vii se incluyen los valores máximos del espectro de la componente v del viento y los periodos en que se presentan. En CB, los máximos de baja frecuencia se presentan en fluctuaciones con periodos de 10 d, 6 d y 3 días. En C52 no se observa el máximo en 10 días

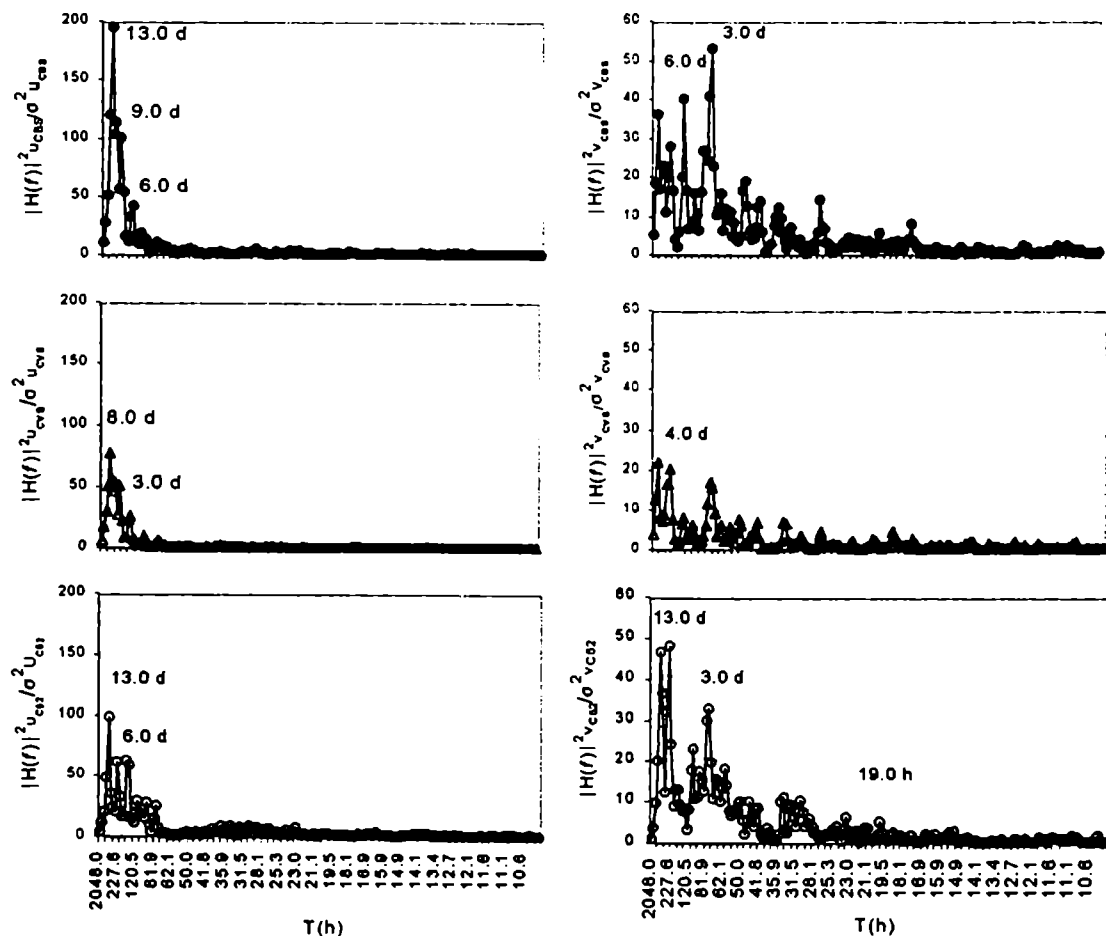


Fig. 9.11: Espectros normalizados de las componentes u y v correspondientes a los días 1/10/94 al 13/10/94, para las estaciones meteorológicas: C52 (-◇-), CVS (-△-) y CBS (-○-), obtenidos cada 15 min a excepción de CVS en que el intervalo fue de 30 min.

y en CVS no se presenta el máximo en 5 d.

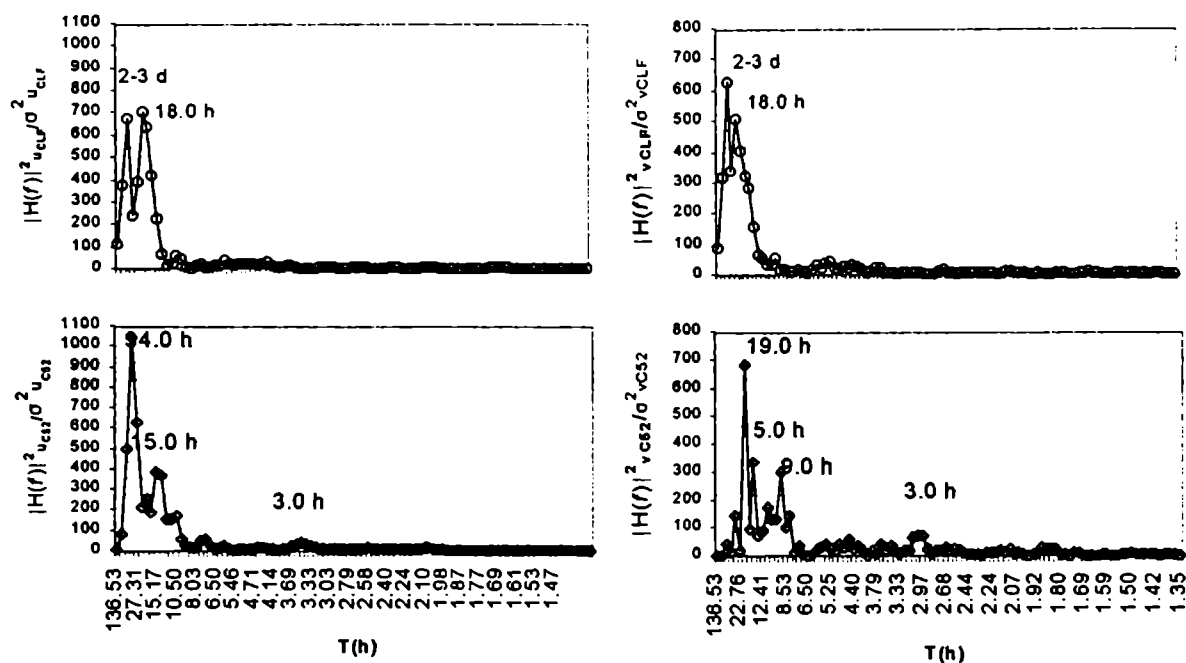


Fig. 9.12: Espectros normalizados de las componentes u y v de la intensidad del viento para las estaciones meteorológicas: CLF (-o-) y C52 (-◊-), correspondientes a los días 1 al 5/9/93 en C52 y 13 a 17/10/93 en CLF obtenidas cada 1 min.

Tabla 9.vi: Densidades espectrales normalizadas de la componente u del viento en los períodos que presentan máximos en C52, CVS y CB entre el 1 y el 13 de octubre de 1994 (np = no presenta).

| Densidad Espectral normalizada de u | | | |
|-------------------------------------|------|------|-------|
| Período | C52 | CVS | CB |
| 5-6 d | 98.4 | 77.0 | 195.4 |
| 3 d | 61.7 | 50.8 | 100.3 |
| 2 d | 63.0 | 25.9 | 41.5 |
| 1 d | 28.6 | 9.4 | 10.0 |
| 14 h | 3.7 | 1.8 | 5.4 |
| 10 h | 8.9 | 2.3 | 2.8 |
| 8 h | 9.3 | np | 4.9 |
| 6 h | 6.9 | np | 4.5 |

Tabla 9.vii: Densidades espectrales normalizadas de la componente v del viento en los períodos que presentan máximos en C52, CVS y CB entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

| Densidad Espectral normalizada de v | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|
| Período | C52 | CVS | CB |
| 11 d | np | 21.7 | 36.0 |
| 5-6 d | 46.7 | np | 22.8 |
| 3 d | 48.1 | 20.2 | 27.7 |
| 2 d | 13.1 | 8.0 | 40.0 |
| 1 d | 23.0 | 56.9 | 26.6 |
| 20 h | 32.6 | 16.8 | 52.9 |
| 12-13 h | 10.1 | 7.5 | 18.8 |
| 11 h | 1.5 | 6.8 | 13.7 |
| 8-9 h | 11.3 | 6.7 | 12.2 |
| 7 h | 3.4 | 1.4 | 14.0 |
| 5 h | 2.6 | 4.6 | 7.9 |

La energía correspondiente a la onda diaria, si bien se observa en el espectro de la intensidad del viento (Figura 9.7) en los espectros de las componentes (ver Figura 9.10) no representa mayores valores de la varianza que las fluctuaciones de baja frecuencia.

Oort y Taylor (1969) describieron el comportamiento de la onda diaria. Los valores máximos de variación diurna fueron encontrados entre las 14:00 y 15:00 h y el mínimo valor, temprano a la mañana. Obtuvieron también, que la fase de la variación diurna cambia rápidamente con la altura. Compararon, los resultados del espectro de la intensidad del viento con el espectro obtenido a partir de análisis separados de las componentes del viento u y v calculadas en las direcciones S-N y W-E respectivamente. En el análisis del viento por componentes hubo un incremento en un factor de 3 de la varianza total, debido a que la dirección del viento agrega un nuevo grado de libertad. La diferencia más notoria residió en el hecho de que el pico diurno no se incrementa en los espectros de las componentes del viento. Oort y Taylor (1969) explican este hecho debido a que la dirección del viento en las estaciones consideradas cerca de la superficie es altamente variable y no cambia sistemáticamente durante el día. Cuando se consideran solamente las estaciones con fuertes efectos de brisa tierra-mar el efecto diurno es notorio aún en las componentes.

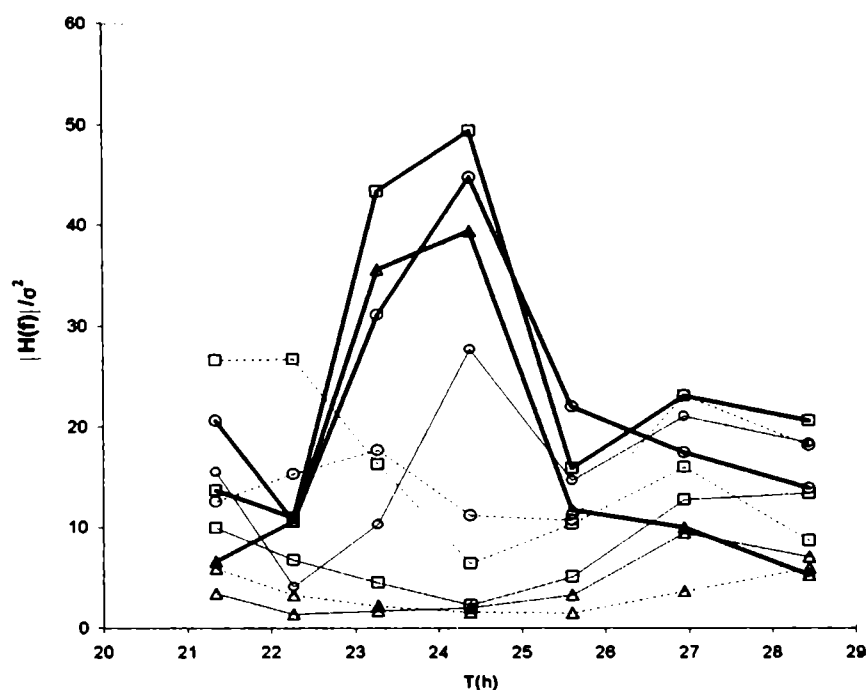


Fig. 9.13: Espectros normalizados de la velocidad del viento en los periodos cercanos a 24 h. Espectro de la intensidad del viento (línea sólida gruesa), espectro de la componente u (línea sólida fina), y de la componente v (línea punteada). Estaciones CB (\square), CVS (Δ) y C52 (\circ).

La onda diaria, se presenta en forma similar en las tres estaciones si se analiza la intensidad del viento. Pero al calcular los espectros de las componentes u y v del viento el comportamiento es diferente. La Figura 9.13 presenta los valores de los espectros normalizados en periodos cercanos a 24 h para la intensidad del viento y las componentes u y v del viento. El espectro de la intensidad, presenta un máximo marcado centrado en 24 h en las tres estaciones (CB, CVS y C52). El espectro de la componente u presenta un máximo en C52 pero no puede notarse un efecto similar en CB y CVS. La componente v, presenta un máximos entre 22 y 23 h y otro en 27 h. Las mayores diferencias encontradas en la componente v pueden relacionarse probablemente al hecho de que la componente v es transversal al flujo y su intensidad y dirección están influenciadas por la disposición del obstáculo del terreno, que tiene una disposición diferente en las cercanías de cada estación. En la componente u esta influencia es menor.

Oort y Taylor (1969) en su análisis de la intensidad del viento, encontraron un pico agudo en 24 h y dos máximos a ambos lados de similar intensidad. Este comportamiento fue asociado a la existencia de una variación anual en la amplitud del ciclo diurno. El periodo analizado en este caso, no sería suficiente para detectar este tipo de modulación, y teniendo en cuenta el comportamiento de la rosa de vientos, especialmente en C52, se podría adjudicar este efecto a variaciones locales diurnas, asociadas a la existencia de los vientos de valle.

RESUMEN

El análisis espectral de la temperatura del aire y de la intensidad del viento presenta las siguientes características importantes:

En los espectros normalizados de la temperatura horaria del aire de Neuquén Aero, Cinco Saltos, Alto Valle y Villa Regina correspondientes a septiembre y octubre de 1988 y 1989, la mayor varianza es explicada en todas las estaciones por fenómenos con períodos del orden de 17 días en 1989 y entre 12 y 28 días en 1988. Además, en ambos años, se observan máximos en períodos entre 4 y 7 días en todas las estaciones meteorológicas. Estas frecuencias podrían asociarse con la ocurrencia de ciclogénesis frontales en latitudes medias, y su traslación y maduración hacia latitudes más altas, con ciclólisis en el mínimo de presión circumpolar alrededor de 60°S en una escala temporal entre 7 y 4 días. Estos aspectos fueron observados por Carleton (1992) al efectuar una recopilación de la climatología sinóptica de latitudes medias y altas del Hemisferio Sur. Los espectros correspondientes a frecuencias mayores presentan características generales similares, notándose picos significativos al 95 % en todas las estaciones meteorológicas en períodos de 2 días, 8 h y 12 h en los datos de los dos años.

La disposición de las estaciones meteorológicas en la zona de chacras, a excepción de Neuquén Aero podría influenciar en el hecho de que las oscilaciones en períodos mayores representen un menor valor de varianza y las frecuencias mayores muestren un mayor valor relativo.

El análisis espectral normalizado de la temperatura del aire en las estaciones Allen (C52), Centenario Barda (CB) en dos niveles, a 3 m (CBI) y a 15 m (CBS) de altura y Colonia Valentina Sur (CVS) se realizó con datos obtenidos con un intervalo entre observaciones de 15 minutos a excepción de CVS en donde el intervalo fue de 30 minutos. En todas las estaciones la posición de los máximos espectrales es similar, pero los valores de energía representados por cada frecuencia disminuyen hacia el interior del valle en las bajas frecuencias y son mayores en el interior del valle en los rangos de alta frecuencia. No se observaron contribuciones importantes al espectro de la temperatura del aire en períodos menores a 8 h. Además, los máximos observados en baja frecuencia presentan mayor energía en la estación CB, ubicada sobre la meseta.

En CB, se contaba con datos de temperatura a 3 y 15 m sobre el nivel del suelo. Se observa que si bien varía la energía total entre ambos espectros, los máximos se mantienen en las mismas frecuencias. El espectro de la temperatura del aire de las estaciones CLF entre el 13/10/93 y el 17/10/93 y C52 entre el 1/9/93 y el 5/9/93 con datos observados cada 1 min presentan máximos espectrales en períodos entre 3 y 2 días, en 19 h y en de 8 y 6 h.

Analizando los espectros de la intensidad del viento correspondientes a C52 y CBS. Se encontró que en los máximos en los mayores períodos, el comportamiento espectral de la estación C52 es invertido con respecto a CVS y CB. En C52 el mayor valor de energía se presenta en períodos de 5 días, mientras que CVS y CB presentan el mayor valor en fluctuaciones en períodos de 3 d. CVS presenta todos los máximos con menores valores de energía debido a que el intervalo de observación fue de 30 minutos a diferencia de las otras estaciones en que los datos fueron cada 15 minutos.

La fluctuación diurna, también se pone de manifiesto en la intensidad del viento. Los

espectros normalizados de la intensidad del viento en CLF entre el 1/9/93 y el 5/9/93 y en C52 entre 13/10/93 y el 17/10/93 presentan una onda diaria importante. El máximo en periodos de 4 días es más pronunciado en CLF y en C52 se aprecia además un máximo en periodos de 11 h.

Los espectros de las componentes de las componentes u y v de la intensidad horaria del viento en Neuquén Aero en septiembre y octubre de 1988 y 1989 muestra en el caso de la componente v un comportamiento más fluctuante con máximos en periodos de 11 a 17 días y de 2 a 3 días. También presenta máximos en periodos de 11.5 h y 8 h.

El espectro de la componente u presenta máximos en periodos entre 21 y 28 días, 4 días y 19 h. En el caso de la componente u el máximo de onda larga se corre hacia periodos mayores respecto de la componente v. El periodo cercano a 4 días podría ser explicado por la presencia de ondas baroclínicas, resultantes de las fluctuaciones en la velocidad del viento debido al pasaje de sistemas de presión de escala sinóptica. Además, u representa un mayor porcentaje de la varianza del viento, coincidiendo con el hecho de que las mayores frecuencias se presentan en la dirección Oeste, que coincide con el eje del valle, que fue considerado en el cálculo de las componentes. La varianza de la componente zonal es aproximadamente 4 veces la varianza de la componente meridional en el caso de las series horarias estudiadas.

El análisis de los espectros normalizados de las componentes u y v de las estaciones meteorológicas C52, CVS y CBS en el periodo comprendido entre el 1/10/94 y el 13/10/94 utilizando observaciones cada 15 minutos comprende un rango de frecuencias mayores que en el caso de los datos horarios. Los mayores valores de energía cinética se observan sobre la barda, disminuyendo en el interior de los valles, debido a la presencia de la topografía en forma de escalón que provoca que el valle se encuentre "protegido".

De manera similar a lo mencionado para la temperatura la diferencia en el intervalo de obtención de datos provoca que los menores valores de energía cinética se presenten en CVS en el valle del río Limay tanto en la componente u como en la componente v. La componente v presenta la energía repartida en distintas frecuencias, mostrando un comportamiento más turbulento, esto podría deberse al hecho de que representa la componente de la velocidad transversal al valle.

En C52 se observan máximos diferenciados en periodos de 8 h y 20 h y entre 4 y 6 días. La componente u del viento concentra mayor energía en CBS, y valores similares en las estaciones meteorológicas ubicadas en el interior del valle. Las fluctuaciones que explican la mayor parte de la energía corresponden a frecuencias más bajas. El espectro de las componentes u y v de la intensidad del viento obtenidas con datos observados cada minuto en CLF entre el 13/10/93 y el 17/10/93 y en C52, entre el 1/9/93 y el 5/9/93, no presentan máximos en alta frecuencia. En CLF los espectros de las componentes u y v son similares, con un máximo en periodos de 3 días y cercanos a 18 h. En C52 sobresale un máximo similar en las frecuencias más bajas y otro en 15 h. Se detecta además un máximo secundario correspondiente a un periodo de 3 h.

Como se pudo observar a partir de los datos climáticos, la presencia del valle produce una conducción del viento en la dirección del eje del valle, puesta de manifiesto en la mayor energía concentrada en la componente a lo largo del valle.

9.5 ESPECTRO CRUZADO ENTRE LAS TEMPERATURAS DEL AIRE DE DIFERENTES ESTACIONES METEOROLÓGICAS UBICADAS EN LOS VALLES

9.5.1 Generalidades

El espectro de energía de una serie temporal presenta la distribución de la energía cinética en función de la frecuencia. En algunas ocasiones, es útil obtener cuáles son las frecuencias que tienen energías similares en dos series temporales que pueden estar relacionadas.

Cuando dos series de datos están correlacionadas entre sí, puede ocurrir que esa correlación ocurra entre las componentes de alta frecuencia o entre las componentes de baja frecuencia. De igual manera, si ambas no están correlacionadas puede suceder que exista correlaciones negativas en las bajas frecuencias y positivas en alta frecuencia o a la inversa.

De acuerdo a lo presentado en la Sección 9.2.1, la correlación cruzada es un concepto íntimamente relacionado con el espectro cruzado. Correlaciones cruzadas del mismo signo producen un espectro de amplitud de baja frecuencia y correlaciones cruzadas oscilatorias producen espectro de amplitud de alta frecuencia. El espectro cruzado es una generalización del espectro para el análisis simultáneo de dos series de datos. Su utilidad es la obtención de correlaciones entre las dos series en distintas frecuencias.

El espectro cruzado ($E_{12}(\omega)$) es en general un número complejo: la parte real se denomina coespectro ($P_{12}(\omega)$) y la parte imaginaria es el espectro de cuadratura ($Q_{12}(\omega)$).

$$A_{12}(f) = \sqrt{[P_{12}(f)^2 + Q_{12}(f)^2]} \quad (9.4)$$

$A_{12}(f)$ es la amplitud del espectro cruzado y puede ser interpretada como una medida de la covarianza entre las componentes respectivas en cada frecuencia de las dos series. El espectro cruzado de amplitudes, muestra si las componentes de una frecuencia particular en una serie están asociadas a amplitudes grandes o pequeñas en la misma frecuencia en otra serie. De igual manera, el espectro de fase muestra si las componentes en frecuencia en una serie precede o está retrasada con respecto a la misma frecuencia en la otra serie.

El coespectro es el cálculo de la covarianza entre las componentes en fase y el espectro de cuadratura es el espectro de las componentes que no están en fase, (en particular las componentes desplazadas en $\pi/2$). El coespectro presenta la descomposición de la covarianza cruzada en función de la frecuencia, sin que exista desplazamiento temporal entre las series consideradas (Jenkins y Watts, 1968).

Debe considerarse el hecho de que si dos procesos tienen en sí mismos grandes autocovarianzas, pueden generar grandes covarianzas cruzadas espúreas, por lo que debe filtrarse las series antes de efectuar los cálculos.

Una descripción de un proceso, se debe complementar con los espectros de coherencia y el de fase. De igual manera, un diagrama de fase compuesto de líneas rectas con distintas pendientes indica que una serie está retrasada con respecto a otra, pero la demora en el dominio temporal entre dos series puede cambiar de una banda de frecuencias a otra (Craddock, 1957).

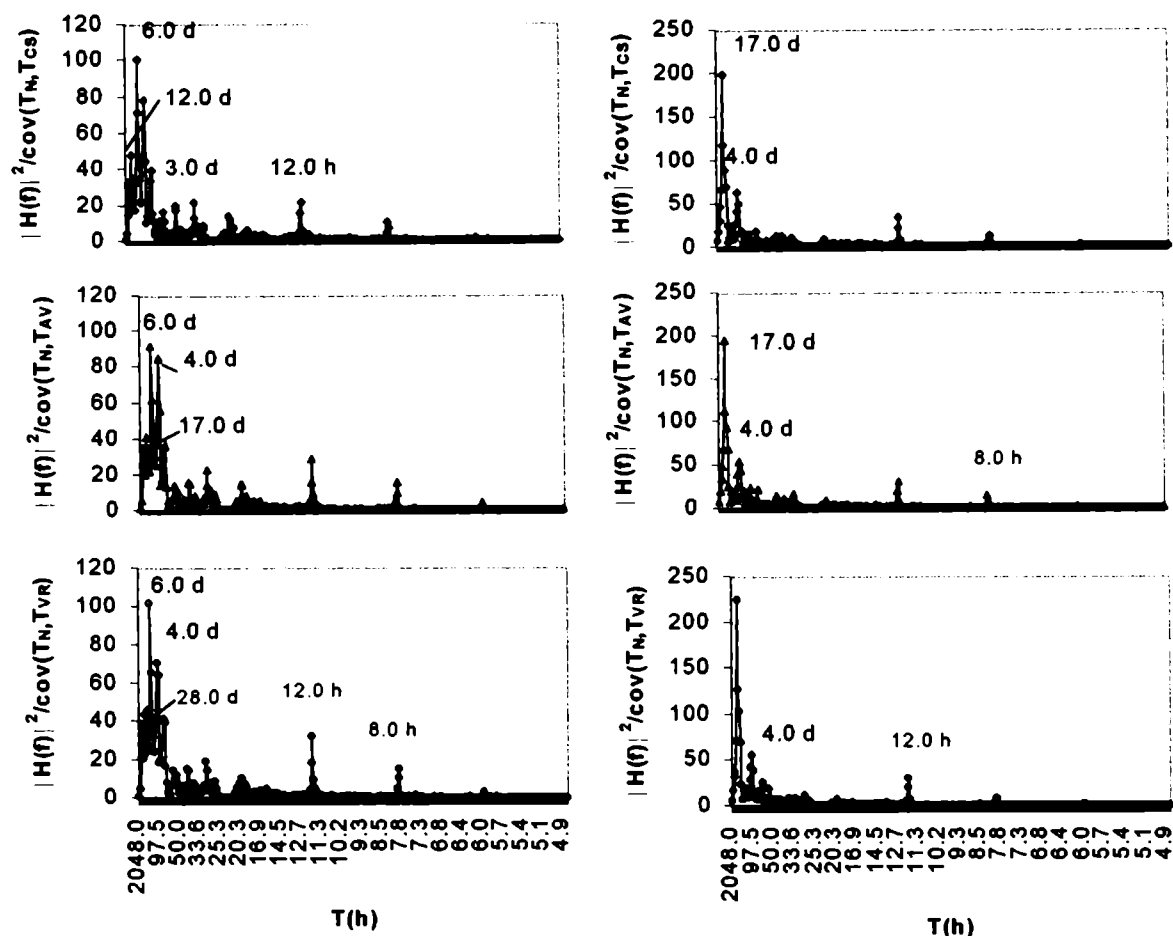


Fig. 9.14: Densidad coespectral cruzada normalizada de la temperatura horaria del aire en Neuquén Aero (T_{NA} (°C)) con la temperatura horaria del aire en Cinco Saltos (T_{CS} (°C)), Alto Valle (T_{AV} (°C)), y Villa Regina (T_{VR} (°C)) para 1988 (izquierda) y 1989 (derecha).

Se calcularon los espectros cruzados entre las estaciones meteorológicas ubicadas en los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro. Se intenta discriminar, correlaciones en el comportamiento de la temperatura del aire en estaciones ubicadas en una distancia de 120 km y si existen diferencias en la influencia que ejercen los sistemas de escala regional sobre la temperatura del aire en distintas localidades de los valles.

9.5.2 Densidades espectrales cruzadas de la temperatura del aire de las diferentes estaciones meteorológicas:

Se calcularon las densidades espectrales cruzadas de la temperatura horaria del aire aplicando la ecuación (9.2) para la estación Neuquén Aero con cada una de las estaciones meteorológicas en los valles: Neuquén Aero - Cinco Saltos (NA-CS), Neuquén Aero - Alto Valle (NA-AV), Neuquén Aero - Villa Regina (NA-VR), para septiembre y octubre de 1988 y 1989. Se filtró la contribución de la onda diaria, el valor medio y la tendencia lineal (ver Sección 9.2).

La Figura 9.15 presenta la densidad espectral cruzada normalizada de la temperatura del aire entre C52 en Allen, en el valle del Río Negro y los dos niveles de CB en el valle del río Neuquén (3 m nivel inferior y 15 m nivel superior) correspondientes a datos observados cada 15 minutos durante los días 1 a 13/10/94. Se observan máximos importantes en fluctuaciones con periodos de alrededor de 3 días y máximos relativos para fluctuaciones con periodos entre 2 y 7 días en los dos casos considerados. Los valores de la densidad espectral son menores en el nivel inferior. Esto puede deberse a la influencia de la superficie terrestre en las fluctuaciones de la temperatura que condiciona el tamaño de los torbellinos.

Al correlacionar la temperatura del aire entre C52 y CB no se detectan valores altos de covarianza en los periodos de 8 y 6 h, en los que el máximo fue notorio en las series horarias de NA, CS, AV y VR analizadas para los meses de septiembre y octubre de 1988 y 1989.

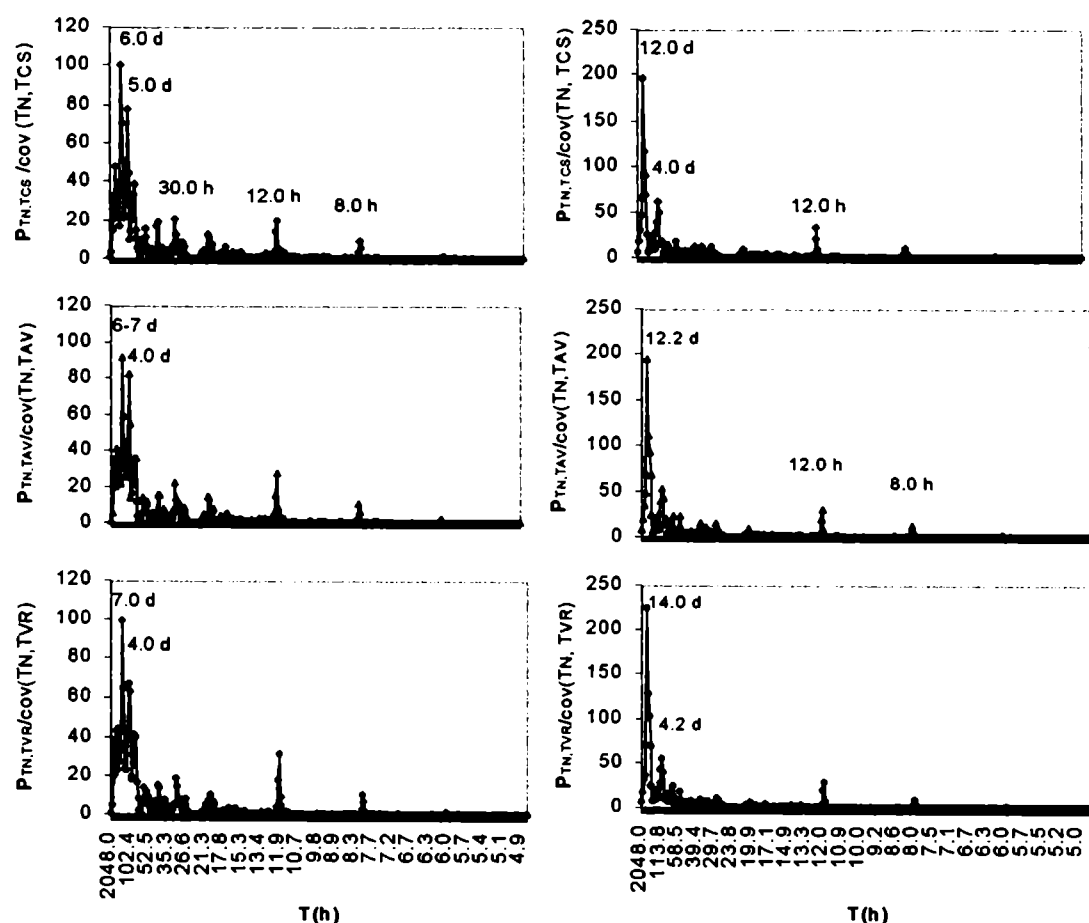


Fig. 9.16: Coespectro ($P_{12}(\omega)$) normalizado de la temperatura del aire en función del periodo (T): Neuquén Aero vs Cinco Saltos (—◇—), Neuquén Aero vs Villa Regina (—○—) y Neuquén Aero vs Alto Valle (—△—) a partir de los datos horarios de septiembre y octubre de 1988 (izquierda) y 1989 (derecha).

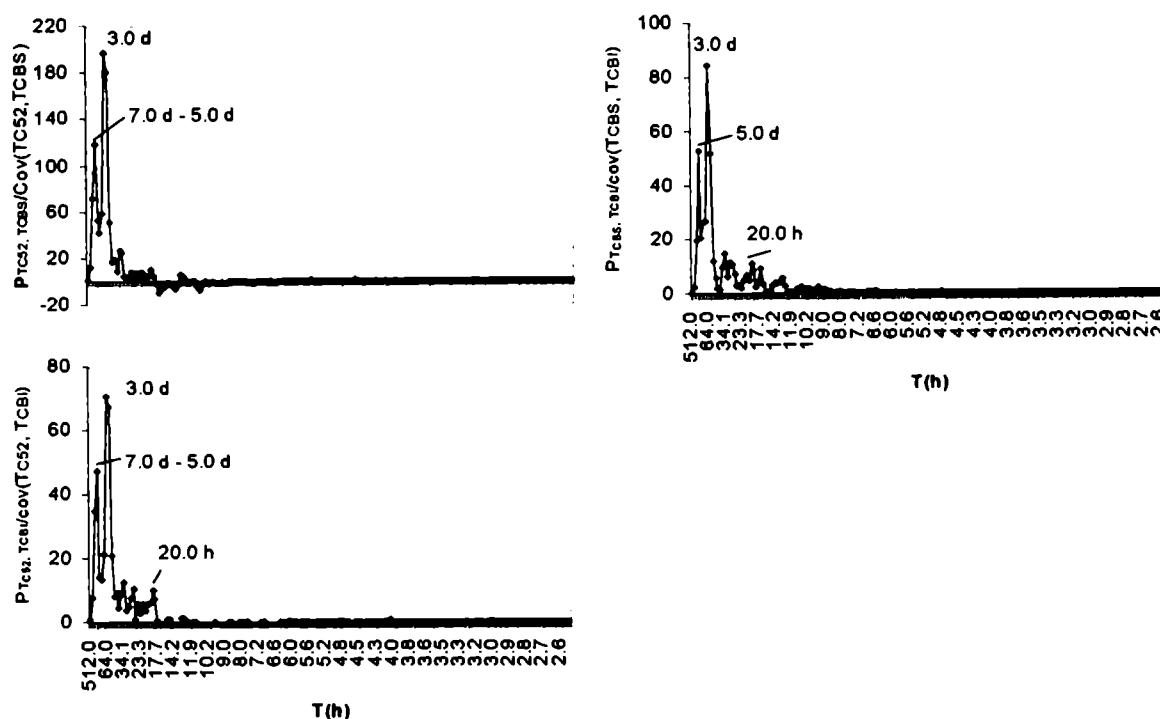


Fig. 9.17: Coespectro (P) normalizado de la temperatura del aire en C52 y CBI (abajo, izquierda) y en C52 y CBS (arriba, izquierda) y en CBI y CBS (derecha) correspondientes a los días 1/10/94 hasta el 13/10/94 para datos obtenidos cada 15 min.

9.5.3 Coespectro de la temperatura del aire

La Figura 9.16 muestra la densidad coespectral normalizada ($|P_{ij}(f)|$) de la temperatura del aire en función del período para las combinaciones Neuquén Aero -Cinco Saltos (NA-CS), Neuquén Aero- Alto Valle (NA-AV), Neuquén Aero Villa Regina (NA-VR) en los períodos de septiembre y octubre de 1988 y 1989.

Se presentan máximos en baja frecuencia en períodos de 14 días, entre 10 y 7 días y en períodos entre 2 y 4 días y en frecuencias mayores. También se presentan máximos en períodos de 20 h, 12 h, 8 h y 6 h. En estos períodos se nota la disminución del valor del coespectro a medida que las estaciones meteorológicas están ubicadas hacia el este (ver Tabla 9.viii). Debe tenerse en cuenta además, que una auto-covarianza alta en cada caso en una dada frecuencia, provoca que el coespectro presente máximos significativos en las mismas frecuencias y estos máximos se presentaron en los espectros individuales de cada una de las estaciones. En el Capítulo 4 (ver Tablas 4.iv y 4.v) se presentan los estadísticos descriptivos de la temperatura del aire en las estaciones meteorológicas. Se puede observar que la amplitud media aumenta a medida que consideramos estaciones ubicadas hacia el este, con una leve disminución en VR.

El coespectro indica la energía representada por los armónicos en los cuales las series consideradas tienen la misma fase. El coespectro correspondiente a la temperatura del año 1989

presenta valores más altos en todo el rango de frecuencias que el de 1988 (ver Tablas 9.viii).

La Figura 9.17 presenta el coespectro normalizado de la temperatura del aire entre C52 y los dos niveles de CB en el valle del río Neuquén (3 m nivel inferior y 15 m nivel superior) correspondientes a los días 1 a 13/10/94.

Se observan máximos importantes en fluctuaciones con períodos de alrededor de 3 días y un máximo secundario en 7 días en los dos casos considerados. En ambos casos se observa un máximo para períodos de 20 h. Los valores del coespectro son aproximadamente 2.6 veces mayores entre C52 y el nivel superior en CB en baja frecuencia (ver Tabla 9.x), que entre C52 y CBI.

Tabla 9.viii: Valores máximos del coespectro normalizado de la temperatura del aire entre NA-CS, NA-AV, NA-VR en el período septiembre y octubre de 1988 y 1989

| Período | NA-CS | | NA-AV | | NA-VR | |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1988 | 1989 | 1988 | 1989 | 1988 | 1989 |
| 17 d | 47.9 | 196.9 | 40.7 | 194.2 | 42.9 | 224.3 |
| 7-10 d | 100.2 | 22.2 | 30.5 | 19.0 | 42.9 | 17.3 |
| 3 d | 38.7 | 14.1 | 35.7 | 23.1 | 41.1 | 25.1 |
| 21 h | 12.6 | 8.4 | 14.2 | 8.4 | 10.2 | 6.6 |
| 12 h | 19.4 | 32.5 | 27.5 | 30.5 | 31.3 | 29.7 |
| 8 h | 8.9 | 10.5 | 10.8 | 12.1 | 10.2 | 8.7 |
| 6 h | 1.2 | 1.4 | 1.9 | 1.5 | 1.7 | 0.9 |

9.5.4 Espectro de cuadratura de la temperatura del aire

El espectro de cuadratura discrimina la energía representada por los armónicos que están desfasados en $\pi/2$ o $-\pi/2$. La Figura 9.18 presenta el espectro de cuadratura normalizado de la temperatura horaria del aire en la estación Neuquén Aero con cada una de las estaciones en los valles: Neuquén Aero vs Cinco Saltos (NA-CS), Neuquén Aero vs Alto Valle (NA-AV), Neuquén vs Villa Regina (NA-VR), correspondientes a septiembre y octubre de 1988 y 1989. En todos los casos, se filtraron las contribuciones de la onda diaria y de la tendencia lineal (ver Sección 9.2). El espectro de cuadratura presenta máximos fluctuantes en baja frecuencia, pero un comportamiento regular con máximos en períodos de 32, 12 y 8 h y con menores valores en 6 y 4 h (Ver Tabla 9.ix).

Los máximos del espectro de cuadratura entre la temperatura del aire en las distintas estaciones correspondiente a fluctuaciones en la escala sinóptica no se presentan en un período bien definido, oscilando entre 10 d y 12 d según las estaciones meteorológicas y el año analizado. En cambio, los máximos en frecuencias más altas se encuentran en 5 d, 8 h y 6 h. (Ver Tabla 9.ix). Entre NA y CS se presentan los menores valores de espectro de cuadratura en los

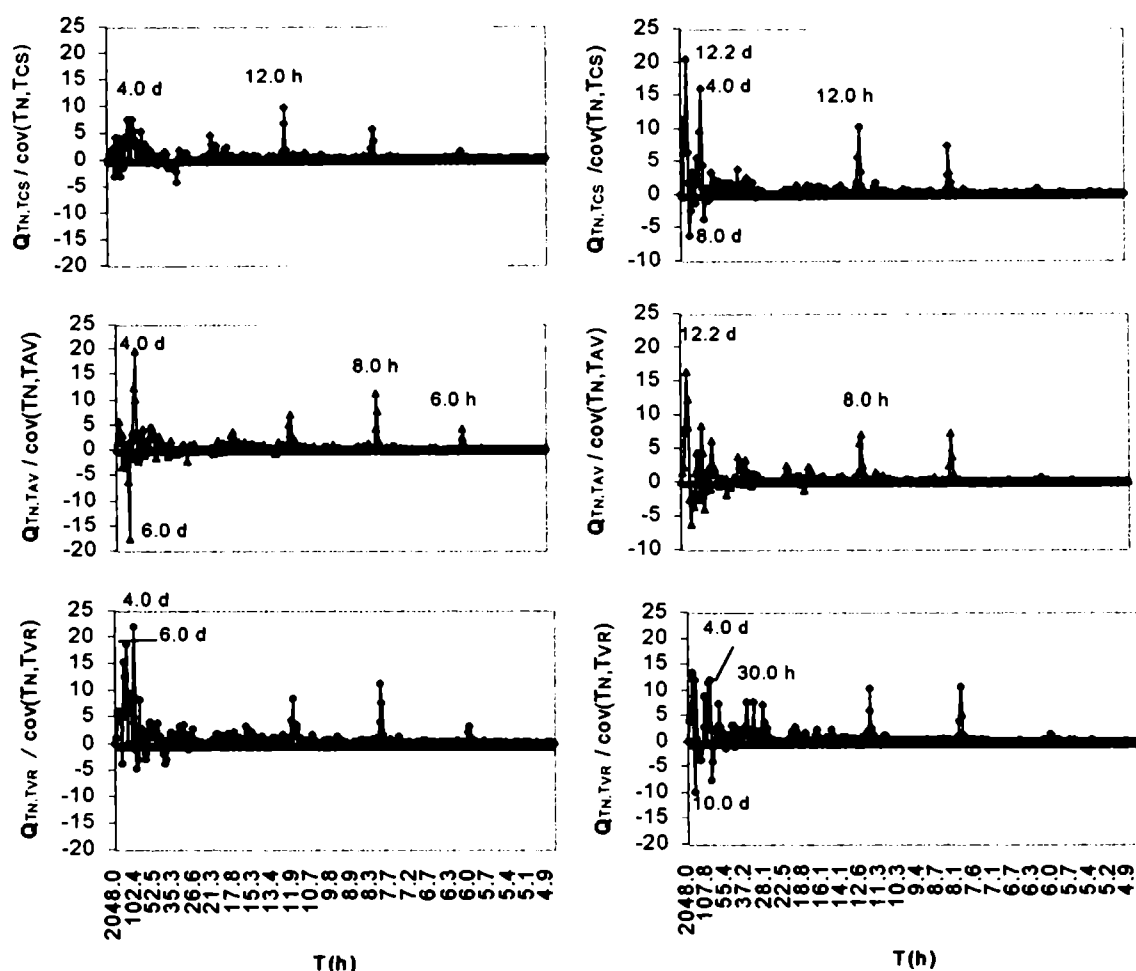


Fig. 9.18: Espectro de -cuadratura ($Q_{12}(f)$) normalizado de la temperatura horaria del aire en función del período (T): Neuquén Aero vs Cinco Saltos (— \diamond —) Neuquén Aero vs Villa Regina (— \circ —), y Neuquén Aero vs Alto Valle (— Δ —) a partir de los datos de septiembre y octubre de 1988 (izquierda) y 1989 (derecha).

períodos más altos y entre NA-AV y NA-VR se nota una disminución hacia el este poniendo de manifiesto una menor correlación a medida que aumenta la distancia entre estaciones. En los períodos de 8 h y 6 h el comportamiento es inverso notándose un incremento del espectro de cuadratura hacia el este que podría asociarse a la diferencia en la amplitud de la onda diaria ya discutida en el punto anterior.

En la Figura 9.19 se presenta el espectro de cuadratura normalizado de la temperatura del aire entre C52 y CBI y entre C52 y CBS en el período entre el 1 y el 13/10/94 obtenidos con información cada 15 min. Entre C52 y CBS se presentan máximos en 11 d a 5 d y 2 d, los máximos son 3 y 5 veces mayores respectivamente que los que se presentan con el nivel inferior. Además entre C52 y CBS se presentan máximos 1.5 veces mayores a los encontrados entre C52 y CBI en 18 h y 13 h (ver Tabla 9.x). El espectro de cuadratura entre CBS y CBI presenta valores negativos excepto en períodos de 2 días en que el valor es positivo. Los valores son

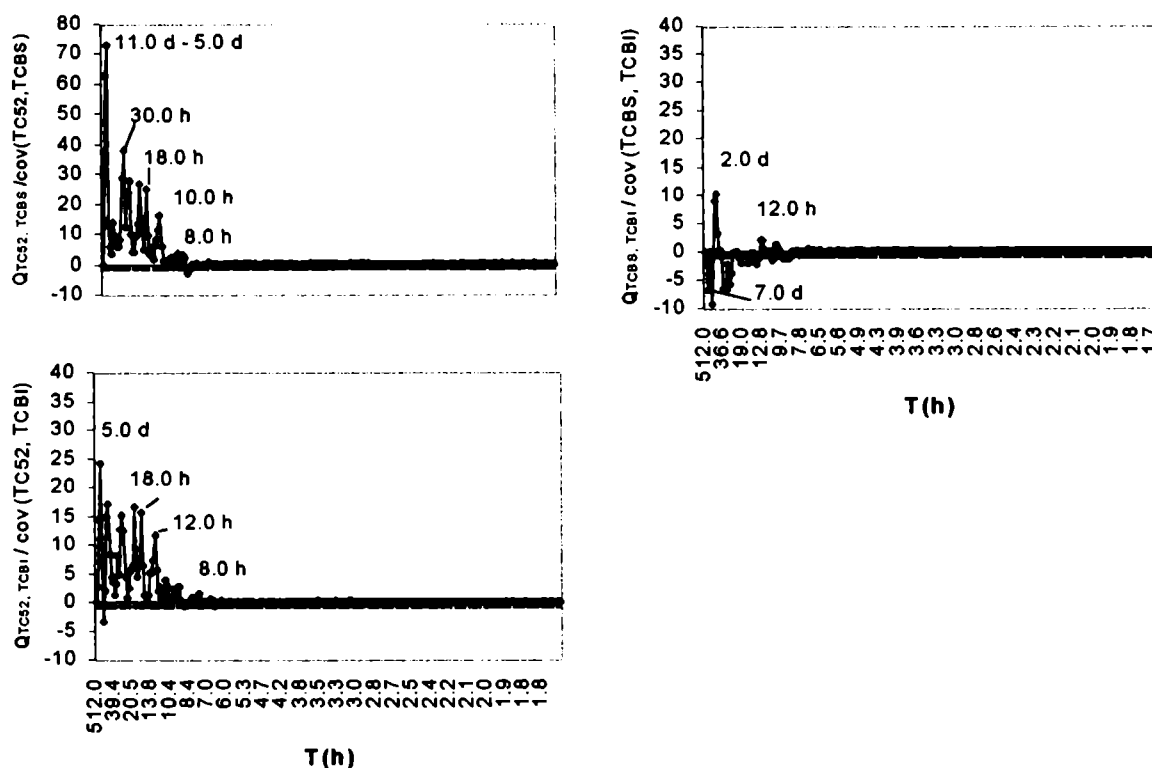


Fig. 9.19: Espectro de cuadratura normalizado (Q) de la temperatura del aire entre C52 y CBS (arriba, izquierda), entre C52 y CBI (abajo, izquierda) y entre CBS y CBI (arriba, derecha) correspondientes a los días 1/10/94 hasta el 13/10/94 para datos obtenidos cada 15 min.

aproximadamente 8 veces menores a los del coespectro. Esto indicaría que las componentes en fase representan un mayor porcentaje de varianza.

Tanto en el coespectro, como en el espectro de cuadratura no se presentan los máximos marcados para periodos de 8 y 6 h entre la temperatura del aire de C52 y CB que fueron encontrados entre NA-CS, NA-AV y NA-VR.

Tabla 9.ix: Valores máximos del espectro de cuadratura de la temperatura del aire entre NA-CS, NA-AV, NA-VR en el período septiembre y octubre de 1988 y 1989.

| Período | NA-CS | | NA-AV | | NA-VR | |
|---------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | 1988 | 1989 | 1988 | 1989 | 1988 | 1989 |
| 10-12 d | 4.4 | -6.2 | -2.9 | 12.1 | 15.4 | 11.9 |
| 5 d | 7.5 | 15.9 | 19.5 | 8.3 | 21.9 | 11.8 |
| 8 h | 5.6 | 7.3 | 11.1 | 7.1 | 11.2 | 10.6 |
| 6 h | 1.4 | 1.0 | 1.0 | 0.7 | 3.1 | 1.3 |

Tabla 9. x: Valores máximos del coespectro y espectro de cuadratura normalizados a partir de la información obtenida cada 15 min entre el 1 y el 13/10/94 (np : no presenta).

| Período | Coespectro | | | Cuadratura | | |
|---------|------------|---------|----------|------------|---------|----------|
| | C52 - CBS | CBS-CBI | C52 -CBI | C52 - CBS | CBS-CBI | C52 -CBI |
| 5-7 d | 117.9 | 52.8 | 47.0 | 73.1 | -6.7 | 24.2 |
| 3-4 d | 197.1 | 84.1 | 70.4 | 13.9 | -9.3 | np |
| 2 d | np | np | np | np | 10.1 | 17.0 |
| 34 h | 24.1 | 14.5 | 12.5 | 38.2 | -6.8 | np |
| 18-20 h | 4.9 | 10.7 | 9.9 | 27.1 | np | 16.6 |
| 13 h | 4.8 | 5.9 | np | 16.3 | 2.0 | 11.8 |

9.5.5 Coherencia entre la temperatura del aire en diferentes estaciones

El cuadrado de la coherencia (o la coherencia) puede ser interpretado como el cuadrado del coeficiente de correlación en función de la frecuencia.

Se calculó el cuadrado de la coherencia entre la temperatura horaria del aire en la estación Neuquén Aero (NA), con las estaciones CS, AV y VR. La Figura 9.20 presenta su comportamiento en las frecuencias más bajas calculadas entre Neuquén Aero y cada una de las estaciones consideradas para septiembre y octubre de 1988 y 1989. Se observa una correlación importante en las frecuencias más bajas y una tendencia en disminución hacia las frecuencias altas. La metodología de cálculo del espectro de fase provoca que se obtengan pocos estimadores espectrales en frecuencias más bajas y mayor cantidad en frecuencias más altas. Esto hace que sea muy difícil observar claramente el comportamiento de la fase y la coherencia (ver Figura 9.20). Debido a este efecto, se eligieron las bandas donde se presentaban máximos espectrales y se promediaron los estimadores en esos rangos. Los estimadores de baja frecuencia tienen menos grados de libertad.

La Figura 9.21 presenta el cuadrado de la coherencia de la temperatura horaria del aire entre estaciones, presenta correlaciones altas entre todas las estaciones en períodos mayores a 5 d y la correlación disminuye monótonamente hacia las mayores frecuencias indicando que los fenómenos de escala regional afectan de manera similar a la temperatura del aire en todas las estaciones, y los fenómenos de escalas menores son característicos de cada estación. El cuadrado de la coherencia varía de la misma manera en todas las estaciones, y los valores son menores en las estaciones más alejadas.

La Figura 9.22 presenta el cuadrado de la coherencia de la temperatura del aire cada 15 minutos en C52 y los niveles inferior (CBI, 3m) y superior (CBS, 15 m) y en CB entre ambos niveles en el período entre el 1 y el 13/10/94. Las correlaciones entre C52 y CB siguen en general el mismo patrón, presentando un comportamiento monótono decreciente.

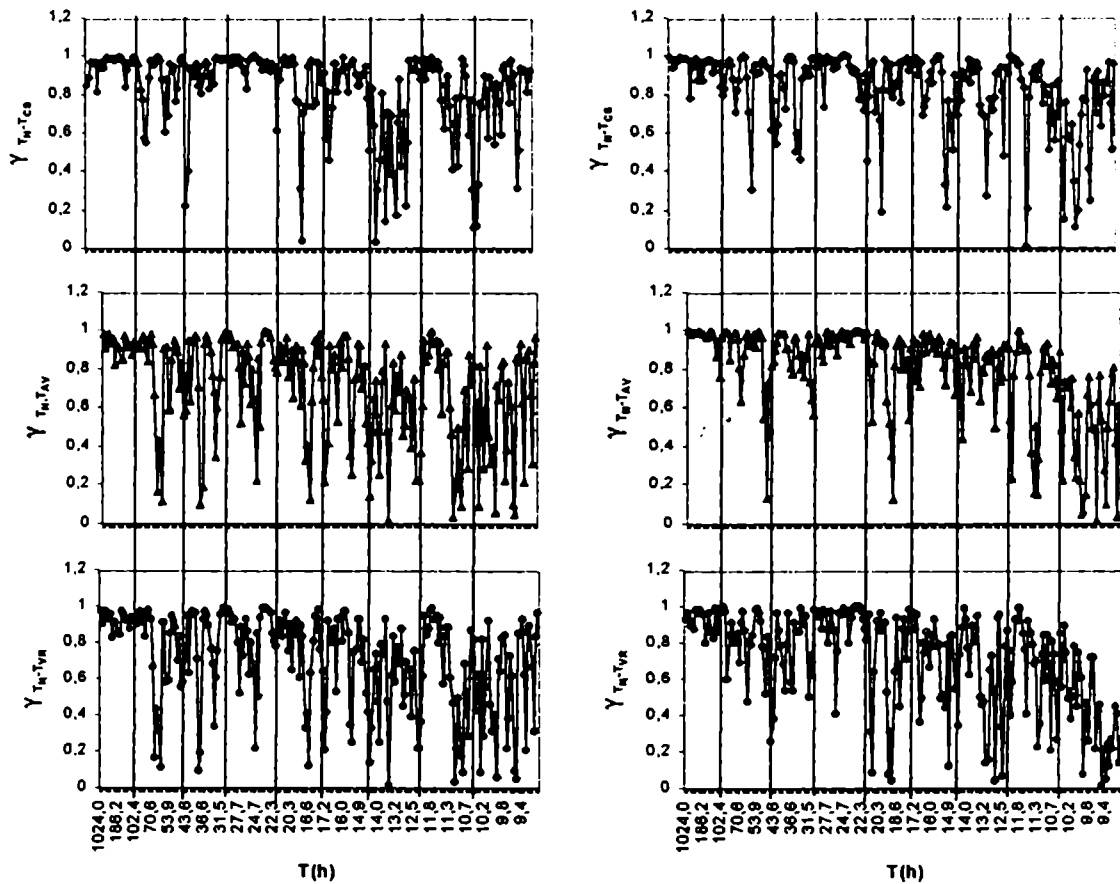


Fig. 9.20: Cuadrado de la coherencia ($\gamma_{T_n-T_i}^2(f)$) de la temperatura horaria del aire en función del periodo (T): Neuquén Aero vs Cinco Saltos (-o-), Neuquén Aero vs Villa Regina (-o-) y Neuquén Aero vs Alto Valle (-Δ-) a partir de los datos de septiembre y octubre de 1988 (derecha) y 1989 (izquierda).

La coherencia entre los dos niveles en CB alcanza valores cercanos a 0.9 hasta periodos de 18 h, marcándose un máximo en fluctuaciones con periodos de 18 a 22 h. En el análisis más detallado se observan valores mínimos de correlación entre C52 y CBS y C52 y CBI en periodos de 4 d, 2 d, 15 h y 12 h y en CBI se presenta una marcada disminución para valores entre 8 h y 5 h, mientras que en periodos menores el comportamiento no sigue un patrón definido.

9.5.6 Fase entre la temperatura del aire de las distintas estaciones

La Figura 9.23 presenta la diferencia media de fase en los periodos con máximos espectrales calculada entre Neuquén Aero y las otras tres estaciones.

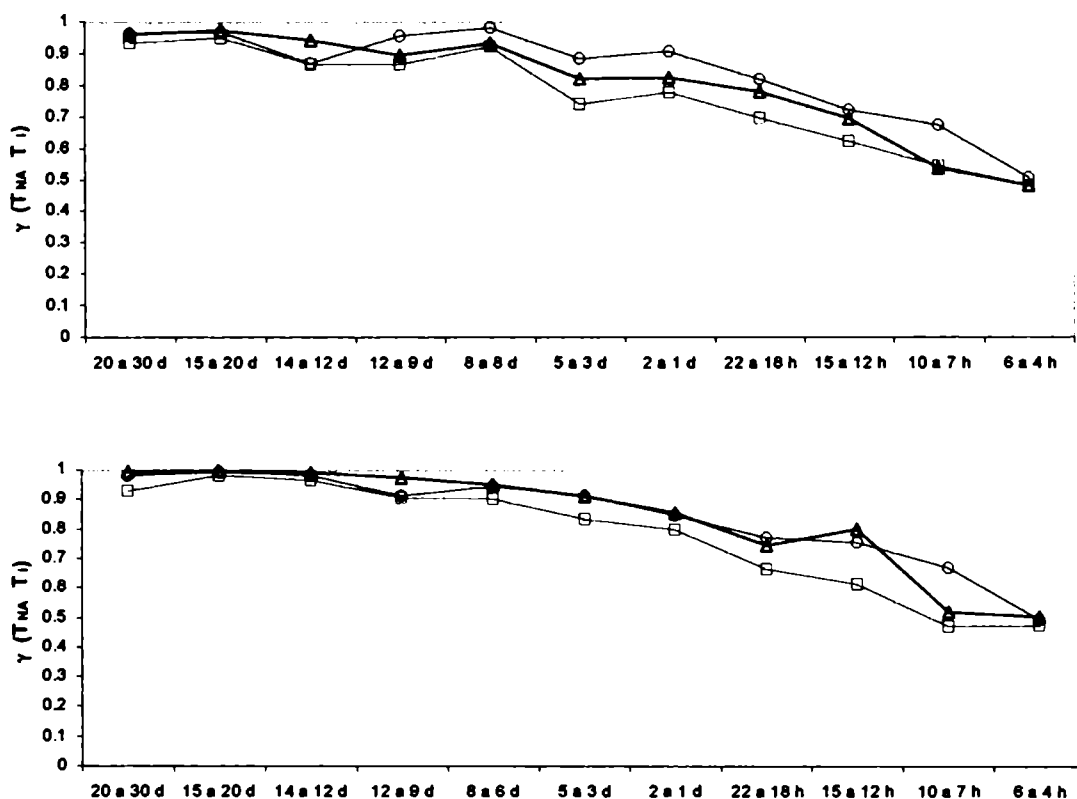


Fig. 9.21: Coherencia media (cuadrado de la coherencia) para intervalos de frecuencia asociados a máximos espectrales de la temperatura del aire entre estaciones TNA-TCS (—○—) TNA-TAV (—△—) TNA-TVR (—□—) en septiembre y octubre de 1988 y 1989.

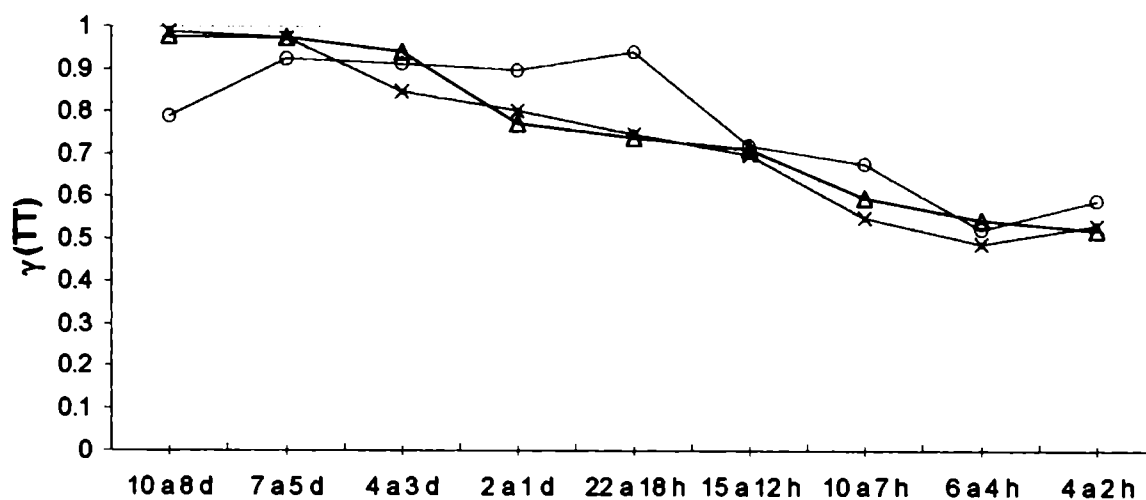


Fig. 9.22: Coherencia (cuadrado de la coherencia) media para intervalos de frecuencia asociados a máximos espectrales de la temperatura del aire entre estaciones CBS-CBI (—○—) C52-CBS (—△—) C52-CBI (—×—) en el período entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

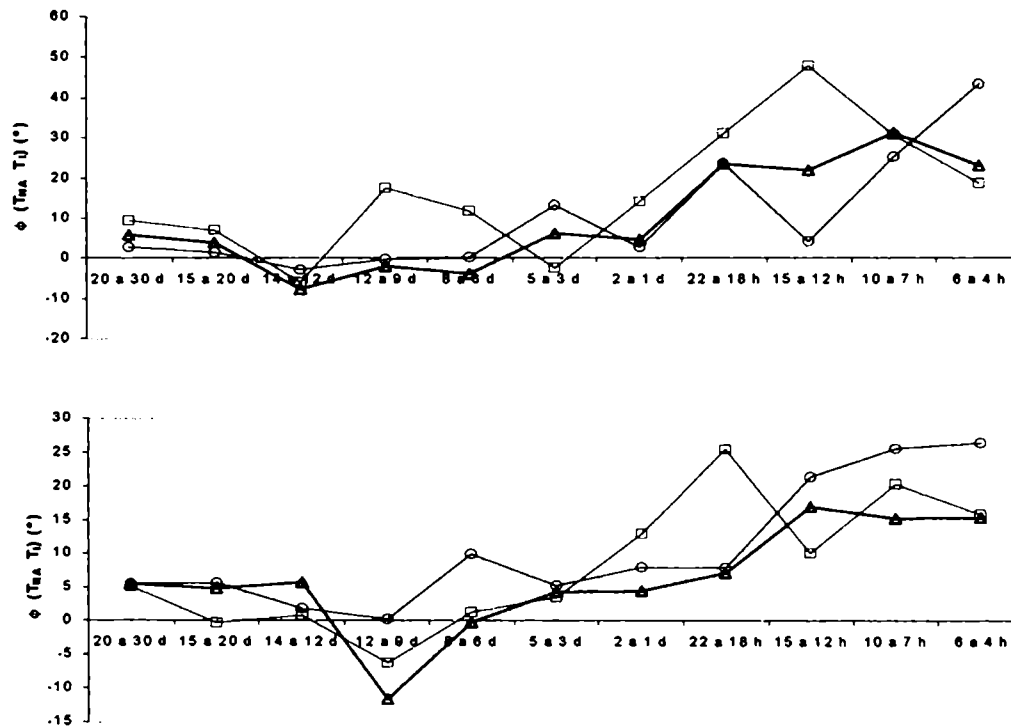


Fig. 9.23: Diferencia de fase media para intervalos de frecuencia asociados a máximos espectrales de la temperatura del aire entre estaciones TNA-TCS (—○—) TNA-TAV (—△—) TNA-TVR (—□—) en septiembre y octubre de 1988 (arriba) y 1989 (abajo).

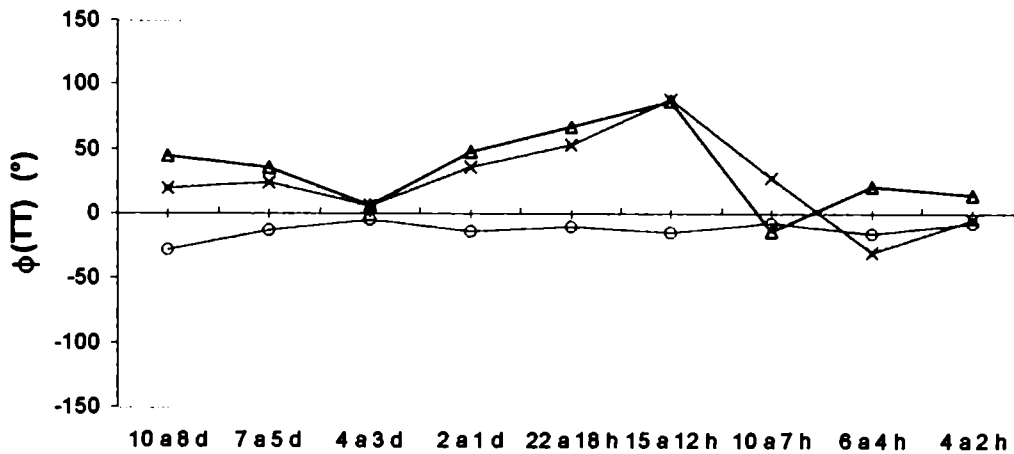


Fig. 9.24: Diferencia de fase media para intervalos de frecuencia asociados a máximos espectrales de la temperatura del aire entre estaciones CBS-CBI (—○—) C52-CBS (—△—) C52-CBI (—×—) en el período comprendido entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

En bajas frecuencias se observan desfases no significativos al 95% (menores a $\pm 10^\circ$) entre NA y cada una de las otras estaciones. Un mayor desfase se presenta en períodos entre 8 y 12 d en

diferente sentido según la muestra analizada. En las frecuencias mayores, en general, los desfases son positivos, indicando que las fluctuaciones en NA ocurren con anterioridad a las de las otras estaciones. La mayor fase media se presenta entre NA y VR en periodos centrados alrededor de 15 h.

La Figura 9.24 presenta la diferencia media de fase entre C52 y los dos niveles de CB y entre ambos niveles de CB. La fase entre C52 y CB (I y S) se mantiene positiva, a excepción de periodos menores a las 10 h. En este periodo se repite el máximo en periodos de alrededor de 15 h ya observado en las series de 1988 y 1989. El desfase de las fluctuaciones del aire entre CBS y CBI se mantiene aproximadamente constante y no presenta valores significativos al 95% (valores menores a -10°). Los cambios en la temperatura del aire en CBI precederían a los cambios en CBS. Este efecto podría adjudicarse a que el calentamiento y el enfriamiento del aire dependen de los intercambios energéticos en los niveles cercanos al suelo.

RESUMEN

El análisis del espectro cruzado de la temperatura del aire en las distintas estaciones meteorológicas analizadas presenta las siguientes características:

La densidad espectral cruzada de la temperatura del aire de las estaciones NA y las estaciones CS, AV y VR presenta un comportamiento más variable en bajas frecuencias (mayores periodos) con máximos en periodos de 28 días, 17 días y entre 11 y 12 días. Se presentan además valores altos de covarianza en fluctuaciones con periodos entre 4 y 7 días. En frecuencias más altas, se puede notar un máximo para fluctuaciones de 3 días, 12 h y 8 h en todas las estaciones. Los máximos en 12 h y 8 h coinciden con valores altos de autocovarianza y podrían atribuirse a contribuciones de los armónicos de la onda diaria.

Las fluctuaciones con periodos de 28 d se asociarían a fenómenos que afectan la escala regional y ejercen su influencia sobre toda la zona. Los fenómenos con periodos entre 2 y 7 d fueron asociados por Hartmann (1974) con las ondas baroclínicas y el pasaje de ciclones y anticiclones migratorios.

La densidad espectral cruzada de la temperatura del aire entre C52, ubicada en el valle del Río Negro y CBI en el valle del río Neuquén presenta máximos importantes en fluctuaciones con periodos entre 2 y 7 días. Un análisis similar con las temperaturas en CBS permite observar que los máximos de covarianza se presentan en periodos similares pero los valores son menores en el nivel inferior. Esto podría deberse a la influencia de la superficie terrestre en las fluctuaciones de la temperatura que condiciona el tamaño de los torbellinos.

En el periodo en que se analizó la temperatura del aire entre C52 y CB no se detectan valores altos de covarianza en los periodos de 8 y 6 h, en los que el máximo fue notorio en las series horarias de NA, CS, AV y VR analizadas para los meses de septiembre y octubre de 1988 y 1989. Este hecho, reforzaría la hipótesis de que estos máximos se deberían a fluctuaciones muestrales.

La densidad coespectral de la temperatura del aire para las estaciones Neuquén Aero - Cinco Saltos (NA-CS), Neuquén Aero- Alto Valle (NA-AV), y Neuquén Aero Villa Regina (NA-VR) en setiembre y octubre de 1988 y 1989 presentan máximos en baja frecuencia en periodos

de 17 y 7 días y para períodos entre 2 y 4 días y 20 h. En el coespectro se repite el patrón en los armónicos de la onda diaria, presentándose una disminución del valor coespectral a medida que las estaciones meteorológicas están ubicadas hacia el este. Además, el análisis de los estadísticos descriptivos de la temperatura del aire en las estaciones meteorológicas muestra que la amplitud media aumenta a medida que consideramos estaciones ubicadas hacia el este, con una leve disminución en VR.

El coespectro de la temperatura del aire entre C52 y los dos niveles de CB en el valle del río Neuquén (3 m nivel inferior y 15 m nivel superior) correspondientes a los días 1 a 13/10/94 alcanza máximos importantes en fluctuaciones con períodos de alrededor de 7 d y 3 d y en frecuencias mayores un máximo para períodos de 20 h. Los valores del coespectro son aproximadamente 2.6 veces mayores entre C52 y el nivel superior en CB en baja frecuencia.

El espectro de cuadratura entre la temperatura del aire en las distintas estaciones en períodos correspondientes a fluctuaciones en la escala sinóptica no presenta un pico en un período bien definido, oscilando entre 10 y 12 d según la estación meteorológica y el año analizado. En cambio, los máximos en frecuencias más altas se encuentran en 5 d, 8 h y 6 h. CS presenta los menores valores de espectro de cuadratura en los mayores períodos y entre AV y VR se nota una disminución hacia el este poniendo de manifiesto una menor correlación a medida que aumenta la distancia entre estaciones.

Entre C52 y CBS el espectro de cuadratura presenta máximos en 11 d y 2 d. Los valores son 3 y 5 veces mayores respectivamente que los que se presentan con el nivel inferior. Además se presentan máximos 1.5 veces mayores en 18 h y 10 h.

Una correlación importante puede observarse en frecuencias más bajas, con una tendencia en disminución hacia las frecuencias altas.

El cuadrado de la coherencia de la temperatura del aire entre estaciones, presenta correlaciones altas entre todas las estaciones en períodos mayores a 5 d y la correlación decrece en forma monótona hacia las mayores frecuencias indicando que los fenómenos de escala regional afectan de manera similar a la temperatura del aire en todas las estaciones, y los fenómenos de escalas menores son característicos de cada estación. La coherencia varía de la misma manera en todas las estaciones, y los valores son menores en las estaciones en ubicaciones más alejadas. La coherencia entre los dos niveles en CB alcanza valores de 0.9 hasta períodos de 18 h, marcándose un máximo en fluctuaciones con períodos de 18 a 22 h.

La diferencia de fase media en los períodos con máximos espectrales calculada entre Neuquén Aero y CS, AV y VR presentan desfases menores a $\pm 10^\circ$ entre NA y cada una de las otras estaciones, con un mayor desfase en períodos entre 8 y 12 d en diferente sentido según la muestra analizada. En las frecuencias mayores, en general, los desfases son positivos, indicando que las fluctuaciones en NA ocurren con anterioridad a las de las otras estaciones. La mayor fase media se presenta entre NA y VR en períodos centrados alrededor de 15 h.

La fase entre C52 y CB (I y S) se mantiene positiva, a excepción de períodos menores a las 10 h. En este período se repite el máximo en 15 h ya observado en las series de 1988 y 1989. Los cambios en la temperatura del aire en CBI precederían a los cambios en CBS. Este efecto podría adjudicarse a que el calentamiento y el enfriamiento dependen de los intercambios energéticos en los niveles cercanos al suelo.

9.6 TRANSPORTE HORIZONTAL DE TEMPERATURA

9.6.1 Introducción

La covarianza entre la temperatura del aire y las componentes de la velocidad del viento, y la covarianza entre la componente u y la componente v del viento pueden ser relacionados con los transportes horizontales de propiedades en superficie.

El flujo medio transversal a un plano implica una correlación entre la componente normal al plano y la variable considerada. La covarianza entre dos variables permite obtener una medida directa del flujo que cruza un determinado plano (Kaimal y Finnigan, 1994).

Las fluctuaciones que contienen energía están sujetas a inestabilidades que muchas veces son generadas por otras fluctuaciones. Esto provoca que las fluctuaciones permanezcan un tiempo de vida finito y luego se transformen en otras más pequeñas. Este proceso, se repite en todas las escalas hasta que las fluctuaciones son tan pequeñas que pueden ser afectadas por la viscosidad y la energía cinética turbulenta y se conviertan en calor (energía interna). El proceso comienza con la conversión de energía cinética media en energía cinética turbulenta en las fluctuaciones más grandes y así hasta las perturbaciones más pequeñas en un proceso en cascada y luego se produce la conversión en calor por la viscosidad. El espectro y el coespectro permite separar las diferentes perturbaciones de distintas escalas y asociarlas con la energía cinética, la varianza o el flujo de las propiedades.

El análisis efectuado en este trabajo se refiere únicamente a los transportes horizontales de propiedades.

Aplicando los promedios temporales a la ecuación de energía interna para un gas ideal, se le adicionan los términos (ver Panofsky y Dutton, 1984):

$$\overline{\rho T'V'} \quad (9.5)$$

donde v' y T' representa los apartamientos de la velocidad y de la temperatura del flujo básico, respectivamente. La expresión (9.5) corresponde a los transportes turbulentos dados por las correlaciones entre la temperatura y la velocidad.

Los flujos de calor separan el flujo debido a la turbulencia de los sistemas de presión migratorios, un flujo debido a los sistemas semi permanentes y una tercera componente debido a la circulación toroidal en forma de celdas tridimensionales.

Flujo de calor

La cantidad de calor sensible llevado hacia el polo por un elemento por unidad de tiempo y unidad de área está dada por:

$$c_p \rho VT \quad (9.6)$$

donde c_p es el calor específico a presión constante del aire húmedo, ρ es la densidad, V es la componente hacia el polo de la velocidad horizontal, y T es la temperatura de un elemento de

aire húmedo. En un determinado periodo el flujo que cruza la unidad de área de una superficie fija vertical en el eje E-W

$$\overline{c_p \rho VT} \quad (9.7)$$

la barra indica el valor promedio sobre un periodo de tiempo de valores individuales tomados en un punto fijo del espacio.

Utilizando las aproximaciones de Reynolds (Panofsky y Dutton, 1984) los flujos de calor resultan:

$$\rho c_p \overline{VT} + \rho c_p \overline{v'T'} \quad (9.8)$$

Es decir, el flujo está compuesto por dos términos de distinto significado físico: el término advectivo está asociado con un valor medio no nulo de la componente horizontal de la velocidad y el flujo debido a la turbulencia que depende de la existencia de correlación entre la temperatura y la velocidad del aire. Priestley (1949) puntualiza que, en latitudes medias el efecto turbulento es la principal fuente de transporte de calor.

Hartmann (1974) calculó el transportes turbulento de temperatura $\overline{v'T'}$ utilizando análisis espectral. Su análisis determinó la existencia de transporte horizontal de temperatura hacia el norte en casi todas las frecuencias, con un máximo entre 3 y 5 días. Los valores calculados de $\overline{v'T'}$ fueron máximos en la troposfera inferior y en las frecuencias más bajas.

A continuación se realiza el análisis del transporte horizontal de temperatura mediante el espectro cruzado entre la temperatura del aire y las componentes horizontales del viento y el transporte horizontal de cantidad de movimiento en los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro.

9.6.2 Espectro cruzado entre la temperatura del aire y las componentes u y v de la velocidad del viento

9.6.2.1 Densidad espectral cruzada entre la temperatura del aire y las componentes u y v de la velocidad del viento:

La Figura 9.25 presenta la densidad espectral cruzada normalizada entre la temperatura del aire y las componentes u y v del viento en NA para los datos horarios de septiembre y octubre de 1988 y 1989. En el caso de la componente u del viento, se presentan valores máximos de densidad espectral cruzada en periodos de 12 a 15 días, y de 3 a 7 días, similares a los encontrados por Hartmann (1974). En frecuencias mayores, se presenta un máximo en 35 h.

La Figura 9.26 incluye la densidad espectral cruzada normalizada (amplitud) entre la temperatura del aire y las componentes u y v de la velocidad del viento en CBI, CBS, C52 y CVS con datos entre el 1 y el 13 de octubre de 1994 cada 15 min. La relación entre la temperatura y

la componente u del viento presenta valores máximos en periodos de 7 d y 10 d y entre 3 d y 5 d, pero el valor de la densidad espectral cruzada en el máximo es aproximadamente dos veces mayor en CBI. Los menores valores se presentan en CVS (ver Sección 9.3.1).

La densidad espectral cruzada entre la temperatura del aire y la componente v del viento en NA, presenta máximos en periodos similares en baja frecuencia. En alta frecuencia presenta máximos entre 18-19 h y entre 11 y 12 h y 8 h.

En los casos de CBI y CBS los valores de densidad espectral cruzada asociados al transporte de temperatura en la dirección W-E son mayores que los transportes en la dirección S-N. Mientras que en C52 y CVS el comportamiento es inverso, obteniéndose transportes mayores en la dirección S-N lo que podría sugerir la influencia del gradiente de presión provocado por la existencia del valle y que se detecta en los análisis del Capítulo 8.

La densidad espectral cruzada entre la temperatura del aire en CLF y C52 en los periodos de 1993 (Figura 9.27) presenta un máximo en 3 días y se discriminan además valores máximos de densidad espectral cruzada en fluctuaciones con periodos de 8 y 5 h. En CLF de manera similar a lo presentado en C52 y CVS en 1994 la densidad espectral cruzada entre la temperatura del aire y v es varias veces mayor que la densidad espectral cruzada entre la temperatura del aire y la componente u, indicando mayores transportes en la dirección S-N.

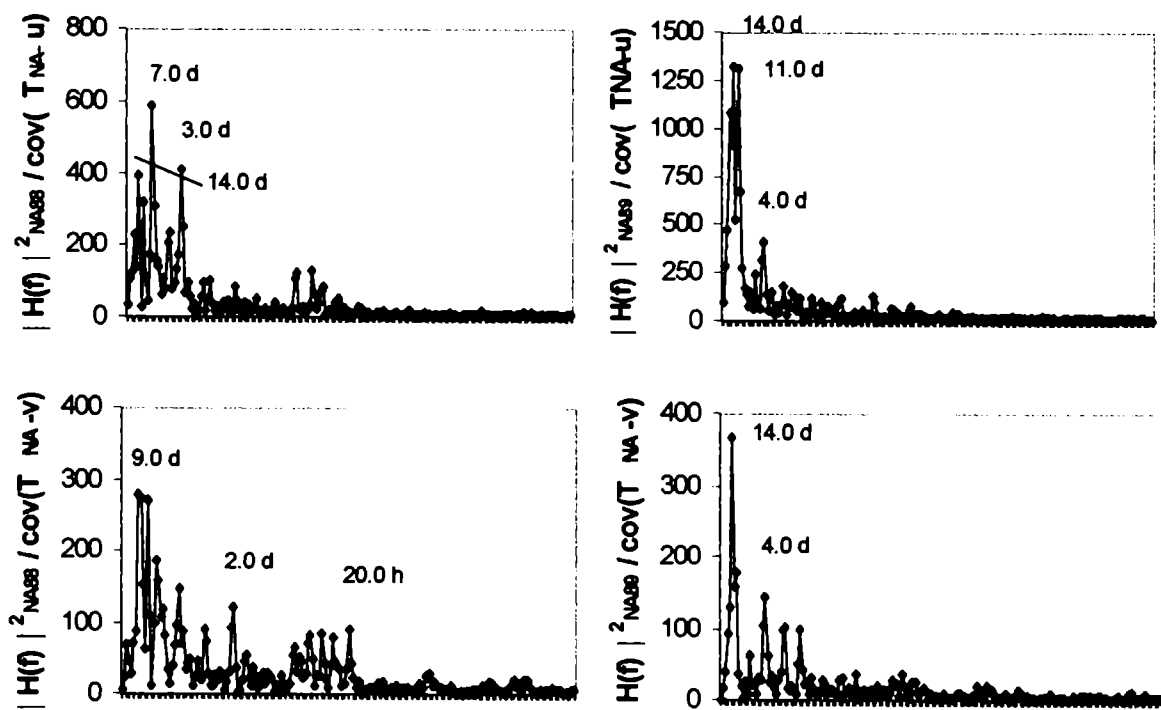


Fig. 9.25: Densidad espectral cruzada normalizada entre la temperatura del aire y la componente v del viento en NA, para los meses de septiembre y octubre de 1988 y 1989.

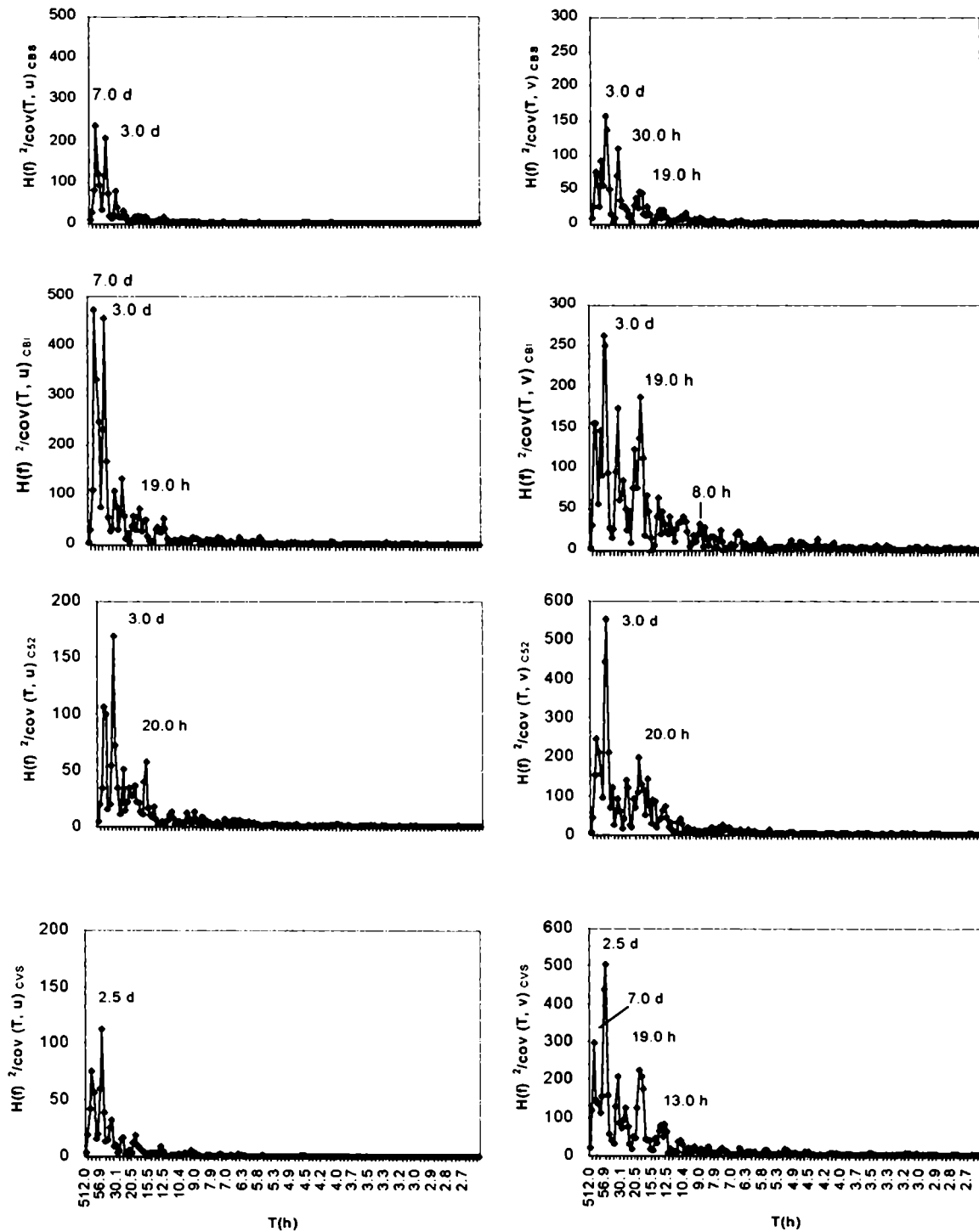


Fig. 9.26: Densidad espectral cruzada normalizada entre la temperatura del aire y las componentes u (izquierda) y v (derecha) del viento para las estaciones CBI, CBS, C52 y CVS entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

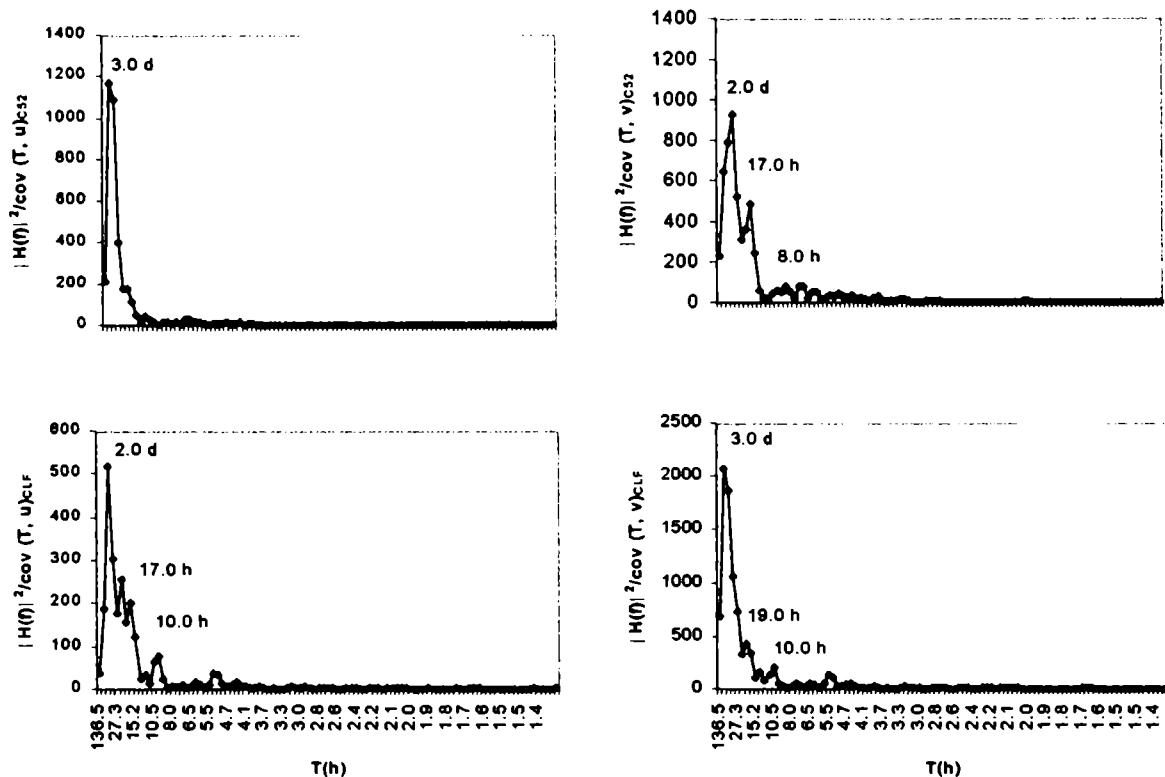


Fig. 9.27: Densidad espectral cruzada normalizada entre la temperatura del aire y las componentes u y v del viento en CLF entre el 13 y el 17 de octubre y C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993.

9.6.3. Coespectro entre la temperatura del aire y las componentes u y v del viento:

Como se explicó anteriormente (9.3.1) el coespectro mide la covarianza entre las componentes en fase de los datos de dos series temporales. En la Figura 9.28 se presenta el coespectro entre la temperatura del aire y las componentes u y v de la velocidad del viento en NA, para septiembre y octubre de 1988 y 1989. Se puede notar que si bien el patrón de fluctuaciones en las bajas frecuencias cambia de un año a otro se presentan similitudes en los períodos para los cuales se obtienen los máximos (ver Tabla 9.xi).

Se presentan máximos positivos (viento arriba) en los períodos de 12 d, 7 d, 31 h, 15 h y 12 h. Durante esos meses el viento medio predominante fue del W (ver Capítulo 5) y el transporte sería hacia el E. Sitamarán (1970) encontró que los transportes horizontales de temperatura estuvieron muy dispersos en frecuencias bajas y que el flujo horizontal de calor era viento arriba. Los resultados obtenidos refuerzan este resultado. y en períodos de 17 d, 40 h, y 8 h se presentaron valores negativos, o sea transporte de temperatura hacia el W.

Las fluctuaciones cada 15 h podrían asociarse a los intercambios de temperatura entre la meseta y el valle debido a las diferencias de presión que alcanzan máximos y mínimos cada 8-9 h y que producirían viento valle arriba durante el día y valle abajo durante la noche (ver Capítulo 8).

Tabla 9.xi: Valores máximos del coespectro entre la temperatura del aire en NA, CS, AV, VR y las componentes u y v del viento en NA en el periodo septiembre y octubre de 1988 y 1989 (np: no presenta)

| Período | TNA-u | | TNA-v | |
|---------|--------|--------|-------|-------|
| | 1988 | 1989 | 1988 | 1989 |
| 14 d | -170.3 | np | -38.6 | 264.6 |
| 10-12 d | 319.1 | 697.5 | 231.5 | np |
| 6-7 d | -522.2 | -136.1 | -50.3 | 41.3 |
| 3-4 d | 90.7 | 200.2 | 79.9 | -17.5 |
| 2 d | -99.3 | -124.3 | -62.7 | 70.5 |
| 35 h | -44.5 | -91.5 | -27.4 | np |
| 18-19 h | np | np | 13.6 | 12.6 |
| 11-12 h | np | np | 17.0 | 29.3 |

Tabla 9.xii: Valores máximos del coespectro normalizado a partir de la información entre la temperatura del aire y las componentes u y v del viento en CBI, CBS y C52 obtenida cada 15 min entre el 1 y el 13/10/94 y en CVS cada 30 min (np: no presenta).

| Período | P (Ti, u) | | | | Período | P (Ti, v) | | | |
|---------|-----------|-------|-------|------|---------|-----------|-------|-------|-------|
| | CBI | CBS | C52 | CVS | | CBI | CBS | C52 | CVS |
| 7-10 d | 472.7 | 236.8 | 106.3 | np | 7-10 d | 155.1 | 75.9 | 246.9 | 296.0 |
| 3-5 d | 454.4 | 207.8 | 169.3 | 74.3 | 3-5 d | 262.5 | 157.0 | 550.8 | 505.5 |
| 40 h | 106.6 | 77.4 | 50.8 | 31.7 | 35-40 h | 173.5 | 110.0 | 93.3 | 208.5 |
| 18-20 h | 73.7 | 16.3 | 57.4 | 19.1 | 19-20 h | 187.5 | 45.5 | 196.8 | 225.5 |
| 13 h | 53.7 | 10.0 | 12.9 | 8.7 | 13 h | 64.4 | 19.1 | 72.2 | 80.9 |
| 8 h | 15.9 | np | 6.2 | 3.3 | 8 h | 26.9 | np | 20.3 | 21.8 |

Tabla 9.xiii: Valores máximos del coespectro normalizado entre la temperatura del aire y las componentes u y v del viento a partir de la información obtenida cada 1 min entre el 13 y el 17/10/93 en CLF y entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993 en C52.

| P (Ti, u) | | | P (Ti, v) | | |
|-----------|-------|-------|-----------|--------|--------|
| Período | CLF | C52 | Período | CLF | C52 |
| 27 h | 247.4 | 254.3 | 18-19 h | 406.5 | -269.4 |
| 19 h | 199.5 | np | 10 h | 199.34 | -273.0 |
| 10 h | 77.6 | 115.1 | 6-7 h | 51.0 | -44.7 |
| 6-7 h | 15.6 | 28.1 | 2-3 h | -14.5 | -40.7 |
| 2-4 h | -4.3 | -29.8 | 1 h | -1.5 | np |
| 1 h | -2.3 | 1.0 | | | |

En las altas frecuencias (períodos menores) los valores de las covarianzas, son muy pequeños comparados con los correspondientes a baja frecuencia. En baja frecuencia hay un pico alrededor de 7 días y entre 1 y 2 días se observa una tendencia a presentar valores de covarianza negativos.

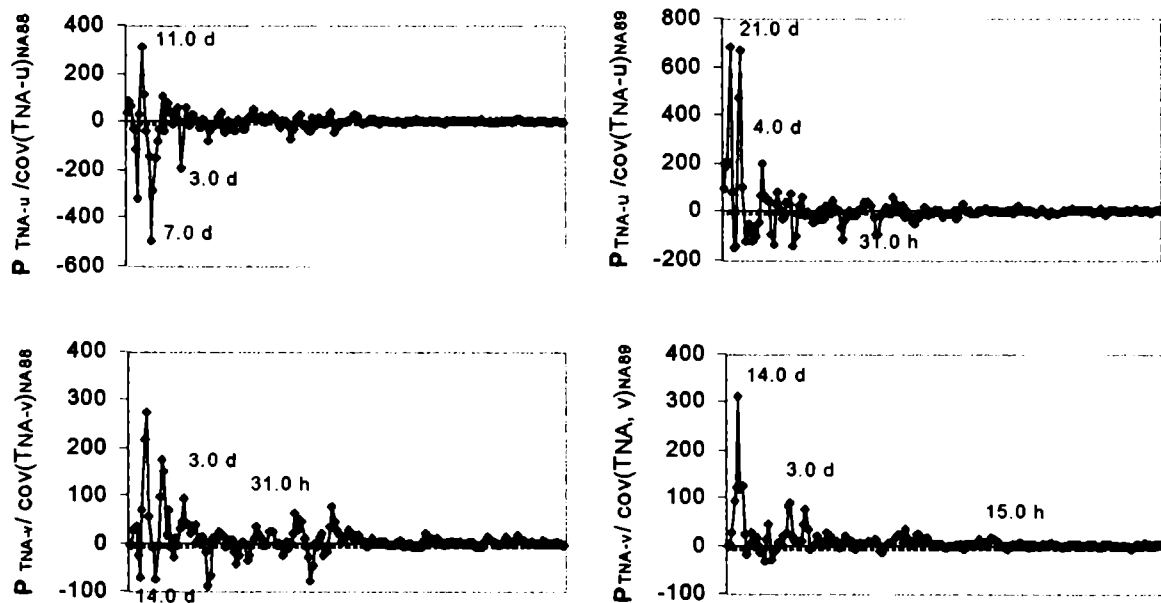


Fig. 9.28: Coespectro normalizado entre la temperatura del aire y las componentes u y v del viento en NA, en septiembre y octubre de 1988 (izquierda) y 1989 (derecha).

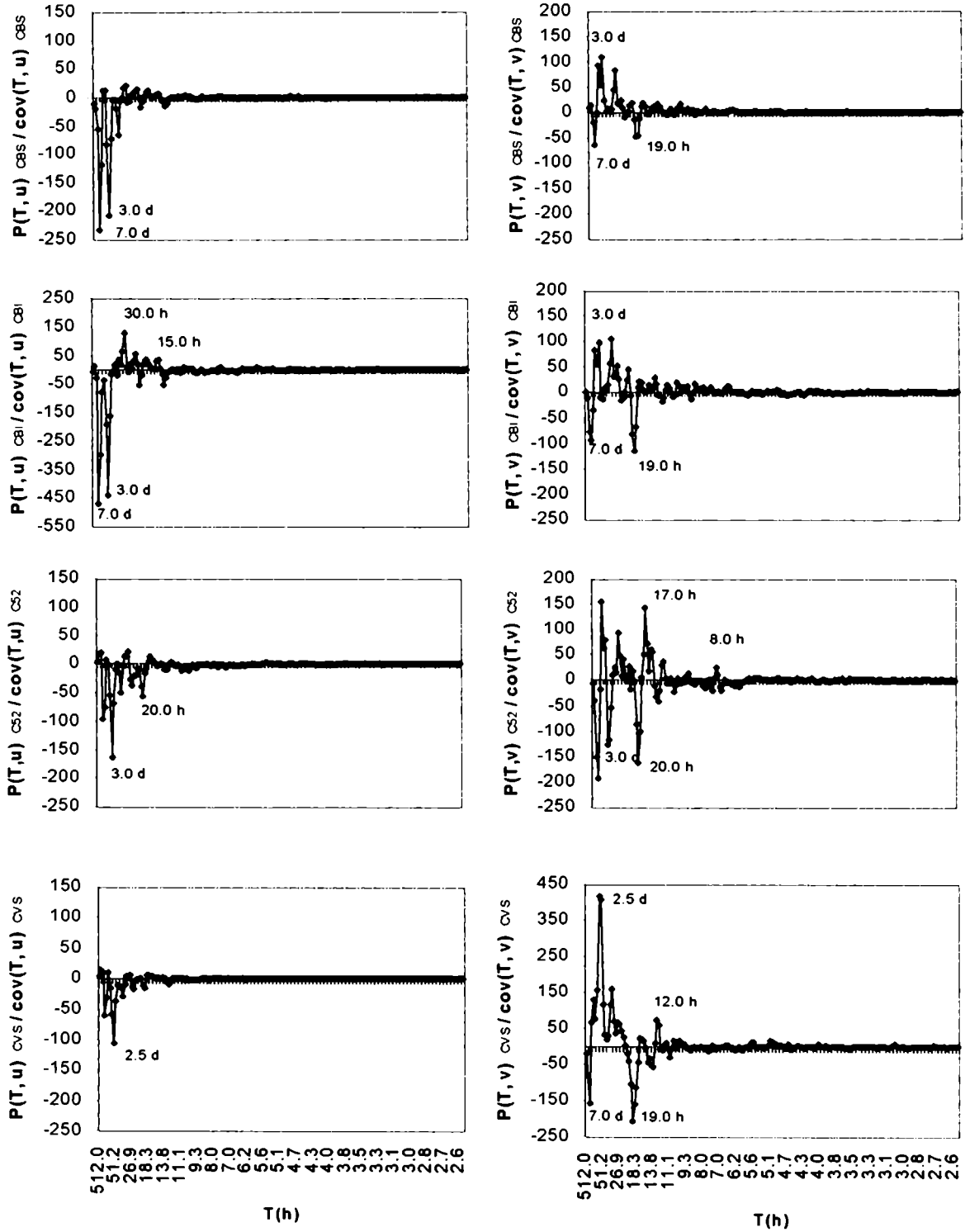


Fig. 9.29: Coespectro normalizado entre la temperatura del aire y las componentes u (derecha) y v (izquierda) del viento en CBS, CBI, C52 y CVS entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

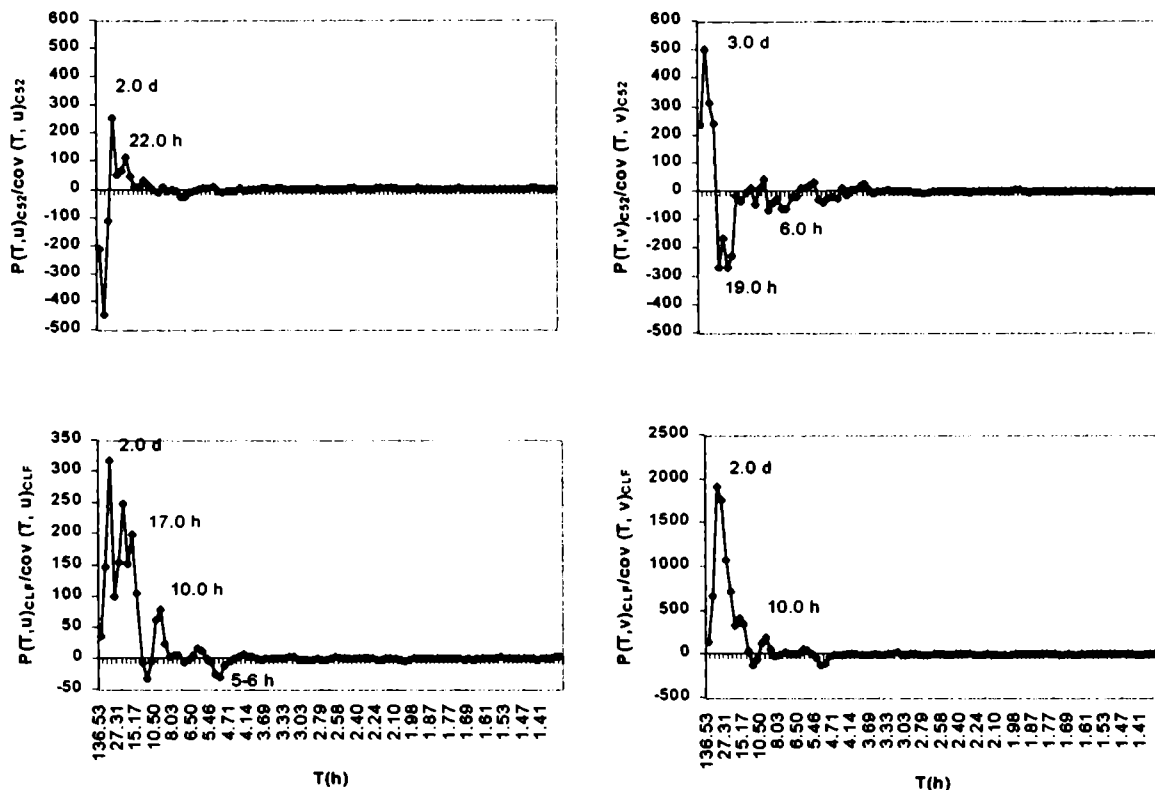


Fig. 9.30: Coespectro normalizado entre la temperatura del aire y las componentes u y v del viento en CLF entre el 12 y el 17 de octubre de 1993 y C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993.

En CBS, CBI, C52 y CVS entre el 1 y el 13 de octubre de 1994, el coespectro entre la temperatura y las componentes u y v de la velocidad del viento presentan características similares en los máximos, especialmente en frecuencias más bajas (ver Figura 9.29). Se puede notar, además que los valores son negativos. En ese período, la dirección más frecuente del viento medio fue del W (ver Capítulo 7), por lo que el flujo sería hacia el W.

La Figura 9.30 presenta el coespectro normalizado entre la temperatura del aire y las componentes u y v del viento en C52 y CLF. Si bien la posición de los máximos coincide los signos y valores son diferentes debido a que los períodos considerados también lo son. Es posible detectar en este caso, en que el coespectro comprende frecuencias más altas un máximo en fluctuaciones de 1 h en u y en v en ambas estaciones.

9.6.4 Espectro de cuadratura entre la temperatura del aire y las componentes u y v de la intensidad del viento:

Como se mencionó anteriormente, el espectro de cuadratura mide la covarianza entre las variables desfasadas en $\pm\pi/2$ de los datos de dos series temporales. En la Figura 9.31 se presenta el espectro normalizado de cuadratura entre la temperatura del aire y la componente u del viento en NA para los meses de septiembre y octubre de 1988 y 1989. Se puede notar que, si bien el patrón de fluctuaciones en las bajas frecuencias varía de un año a otro se presentan

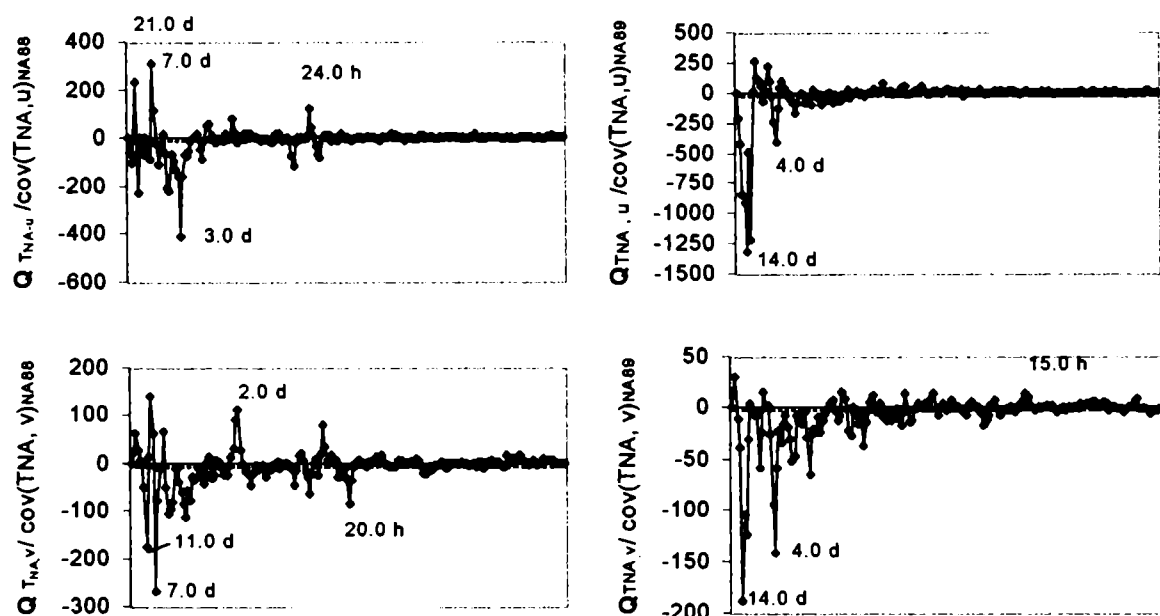


Fig. 9.31: Espectro normalizado de cuadratura entre la temperatura del aire con las componentes u (arriba) y v (abajo) del viento en NA para septiembre y octubre de 1988 (izquierda) y 1989 (derecha).

similitudes en los períodos para los cuales se obtienen los máximos (ver Tabla 9.xiv).

La Figura 9.31 presenta el espectro normalizado de cuadratura entre la temperatura del aire y la componente v de la velocidad de viento en NA para septiembre y octubre de 1988 y 1989. Los valores de la covarianza en períodos entre 3 y 8 días tienden a ser negativos (Tabla 9.xiv) es decir, que cuando T y v están desfasadas en $\pm\pi/2$ el transporte de las fluctuaciones con períodos entre 3 y 8 d es hacia el S. Los valores máximos que coinciden en ambos años se presentan en períodos de 42 y 16 h, ocurriendo un comportamiento fluctuante en los períodos mayores (ver Tabla 9.xiv).

Tabla 9.xiv: Valores máximos del espectro normalizado de cuadratura entre la temperatura del aire y las componentes u y v del viento en NA en el periodo septiembre y octubre de 1988 y 1989 (np: np presenta)

| Período | Q TNA u | | Q TNA v | |
|---------|----------|---------|---------|--------|
| | 1988 | 1989 | 1988 | 1989 |
| 14 d | 249.1 | -1292.1 | np | -162.1 |
| 9-11 d | np | -1165.4 | -201.0 | np |
| 3-5 d | -448.5.2 | -356.1 | -92.2 | -65.9 |
| 2 d | 70.0 | 60.0 | 37.4 | -54.2 |
| 17-18 h | np | np | 16.75 | -11.0 |
| 11-12 h | np | np | 23.8 | 33.6 |

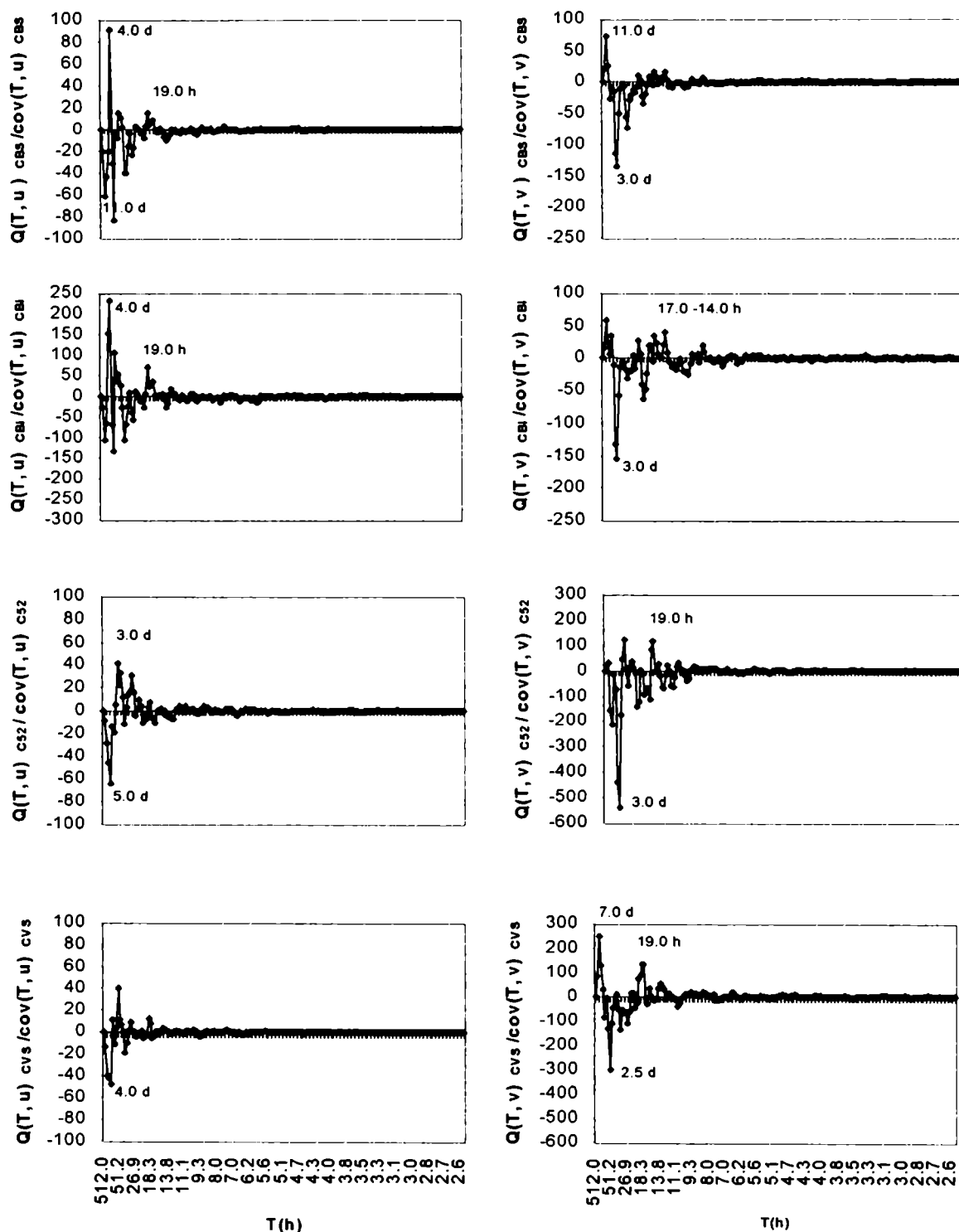


Fig. 9.32: Espectro normalizado de cuadratura entre la temperatura del aire y las componentes u y v del viento en CBS, CBI, C52 y CVS entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

Tabla 9.xv: Valores máximos del espectro normalizado de cuadratura normalizado a partir de la información obtenida cada 15 min entre el 1 y el 13/10/94 en CBS, CBI, C52 y en CVS cada 30 min. (np: no presenta)

| Q (Ti, u) | | | | | Q (Ti, v) | | | | |
|-----------|-------|-------|------|-------|-----------|--------|--------|--------|------------|
| Período | CBI | CBS | C52 | CVS | Período | CBI | CBS | C52 | CVS |
| 11 d | 107.1 | -61.5 | np | np | 11 d | 59.0 | 107.1 | np | 250.6 (7d) |
| 4-5 d | 233.5 | 91.5 | np | -47.2 | 4-5 d | 34.9 | np | -209.9 | np |
| 2-3 d | -83.4 | -83.4 | 41.3 | 39.6 | 2-3 d | -536.1 | -136.2 | -536.1 | -300.7 |
| 19-21 h | 71.0 | 15.25 | 7.1 | np | 19-21 h | 34.7 | 16.9 | -112.3 | 135.8 |
| 13-14 h | 18.6 | -7.4 | -7.7 | np | 13-14 h | 40.1 | 16.1 | np | 47.1 |

En la Figura 9.32, se presenta el espectro normalizado de cuadratura entre la temperatura del aire y las componentes u y v del viento en CBS, CBI, C52 y CVS entre el 1 y el 13 de octubre de 1994. Los valores de la covarianza y la forma del espectro de cuadratura en CBS y CBI son similares para u y v, con mayores valores en CBI. En C52 y CVS, la covarianza entre la

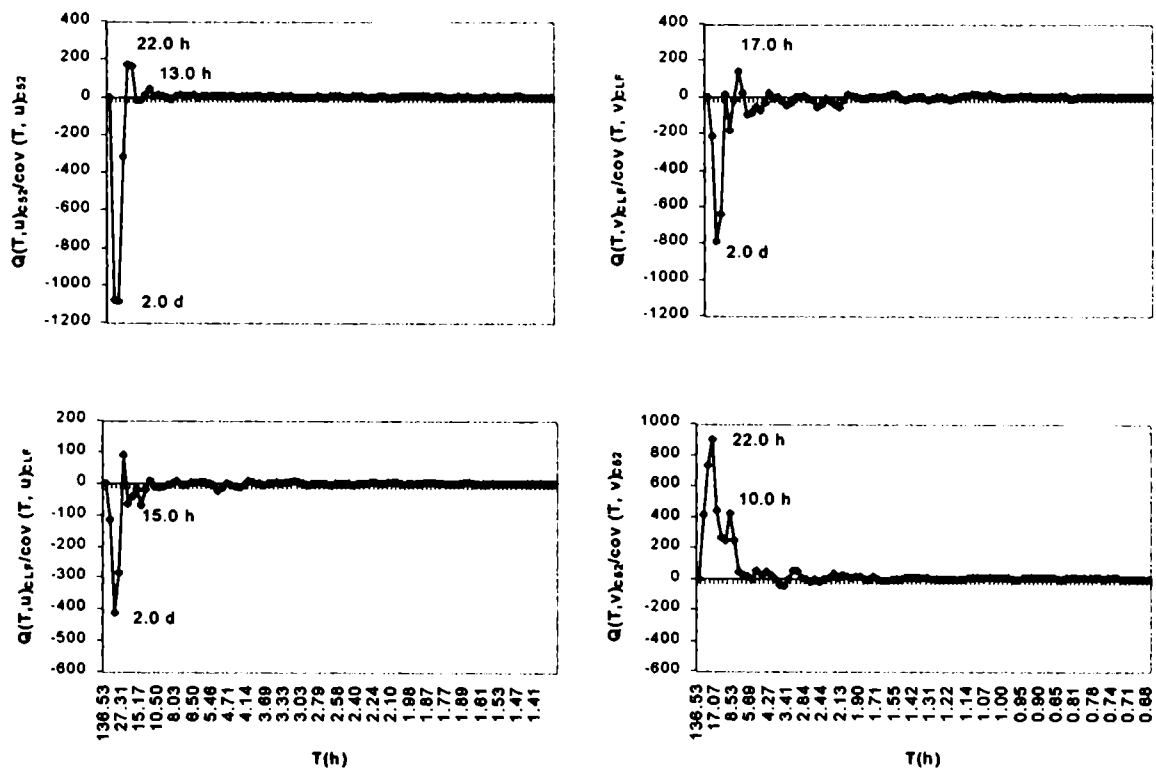


Fig. 9.33: Espectro normalizado de cuadratura entre la temperatura del aire y la componente u del viento (izquierda) y la componente v del viento (derecha) en C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993 y en CLF entre el 13 y el 17 de octubre de 1993.

temperatura del aire y la componente u es menor y los valores entre la temperatura y componente v son 4 veces mayores que los calculados en CB. En C52 y CVS se obtienen transportes horizontales de calor mucho mayores en la dirección S-N (ver Tabla 9.xv). En general, los transportes en las estaciones ubicadas en los valles son mayores en la dirección transversal.

La Figura 9.33, es una representación similar a la que se muestra en la Figura 9.32 para las estaciones CLF y C52 en 5 días de 1993. El espectro normalizado de cuadratura entre la temperatura y la componente u presenta formas similares en los dos casos, mientras que el espectro de cuadratura entre T y la componente v es distintivo en cada estación. Esto podría deberse a que el período de datos analizado es diferente y las configuraciones del flujo con respecto a la dirección transversal al viento medio es más variable debido a que es coincidente con la dirección de los vientos predominantes. En ambos casos se presenta transportes horizontales de calor hacia el W.

La Tabla 9.xvi incluye los valores máximos y los períodos correspondientes. Los períodos en los que se presentan máximos relativos son para fluctuaciones de 17 h, 6 h, 2 y 1 h.

En todos los casos analizados, los espectros de cuadratura entre la temperatura del aire y la componente u del viento en cada estación son similares en su forma. En cambio el espectro de cuadratura entre la temperatura y la componente v, presenta características que varían con la estación meteorológica considerada y su ubicación.

Tabla 9.xvi: Valores máximos normalizado del espectro de cuadratura entre la temperatura del aire y las componente u y v de la velocidad del viento a partir de la información obtenida cada 1 min entre el 13 y el 17/10/93 en CLF y entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993 en C52. (np: no presenta)

| Período | Q (Ti, u) | | Período | Q (Ti, v) | |
|---------|-----------|-------|---------|-----------|-------|
| | CLF | C52 | | CLF | C52 |
| 17.1 h | -69.7 | 139.0 | 17-23 h | 171.1 | 899.4 |
| 6 h | -24.3 | 44.5 | 6 h | np | 54.5 |
| 2 h | 3.7 | -17.6 | 2 h | 6.6 | 30.9 |
| 1 h | 1.8 | -7.6 | 1 h | -1.0 | np |

9.6.5 Coherencia entre la temperatura del aire y las componente u y v de la intensidad del viento

Para el análisis del cuadrado de la coherencia (de ahora en más: coherencia) se procedió de manera similar a lo desarrollado en la sección 9.5.5, se calculó la coherencia media al cuadrado en bandas de período elegidas de acuerdo a la posición de los máximos en el espectro cruzado.

La Figura 9.34 presenta la coherencia (cuadrado de la coherencia) media entre la temperatura del aire y las componentes u y v del viento en NA. Los valores de coherencia entre la temperatura del aire y la componente u en períodos mayores a 4 d presentan mayor dispersión, y a medida que disminuye el período de las fluctuaciones consideradas varía alrededor de 0.5, sin mostrar picos muy definidos. El comportamiento de la coherencia entre la temperatura del aire y la componente v, presenta un comportamiento similar, aunque con mayor dispersión en

baja frecuencia según el año. La coherencia al cuadrado en las estaciones ubicadas en el interior del valle presenta características similares, al considerar ambas componente (ver Figura 9.35).

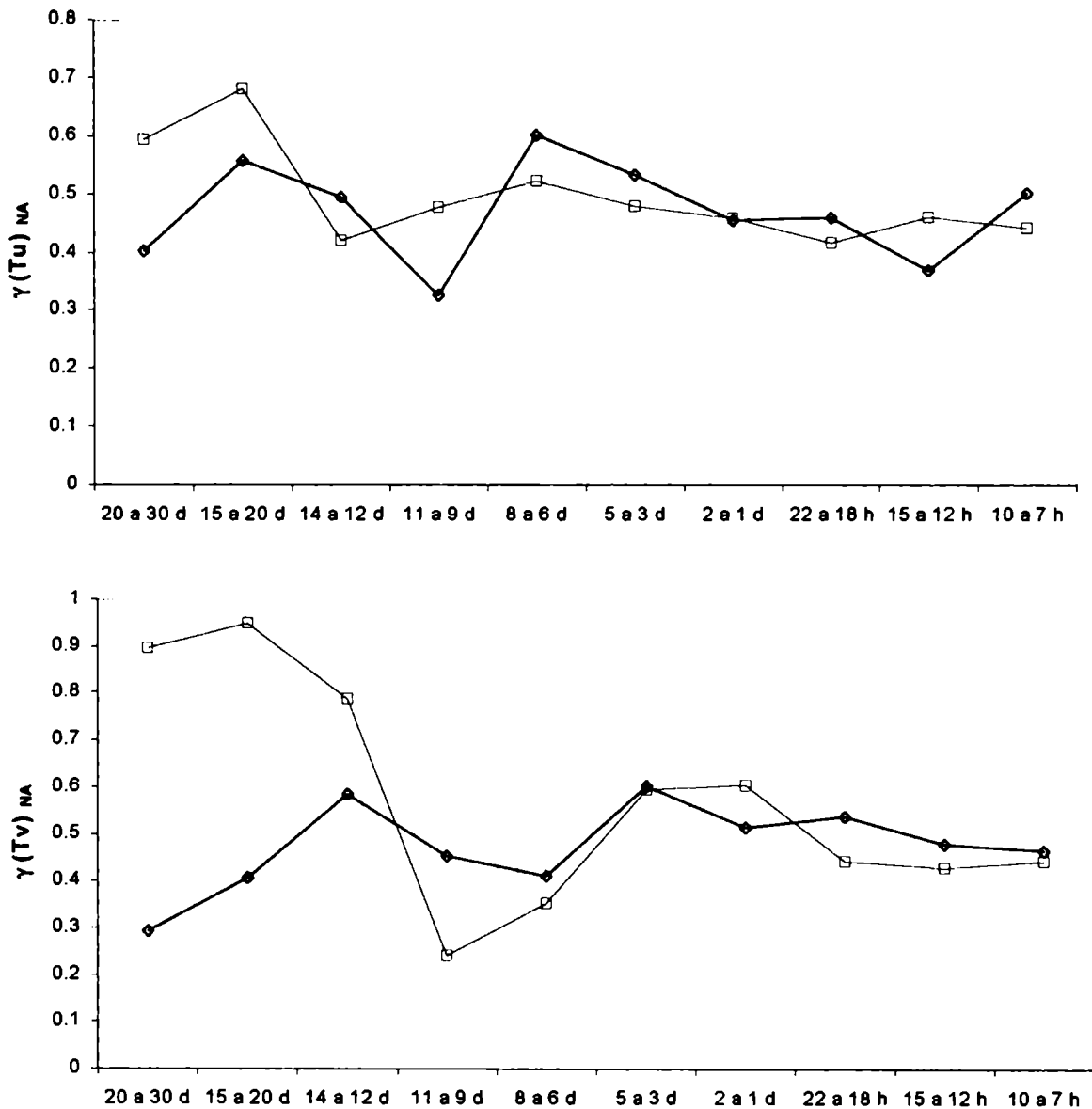


Fig. 9.34: Coherencia media para intervalos de período asociados a máximos espectrales entre la temperatura del aire y la componente u (arriba) y v (abajo) de la intensidad del viento en NA para septiembre y octubre de 1988 (—◇—) y 1989 (---□---).

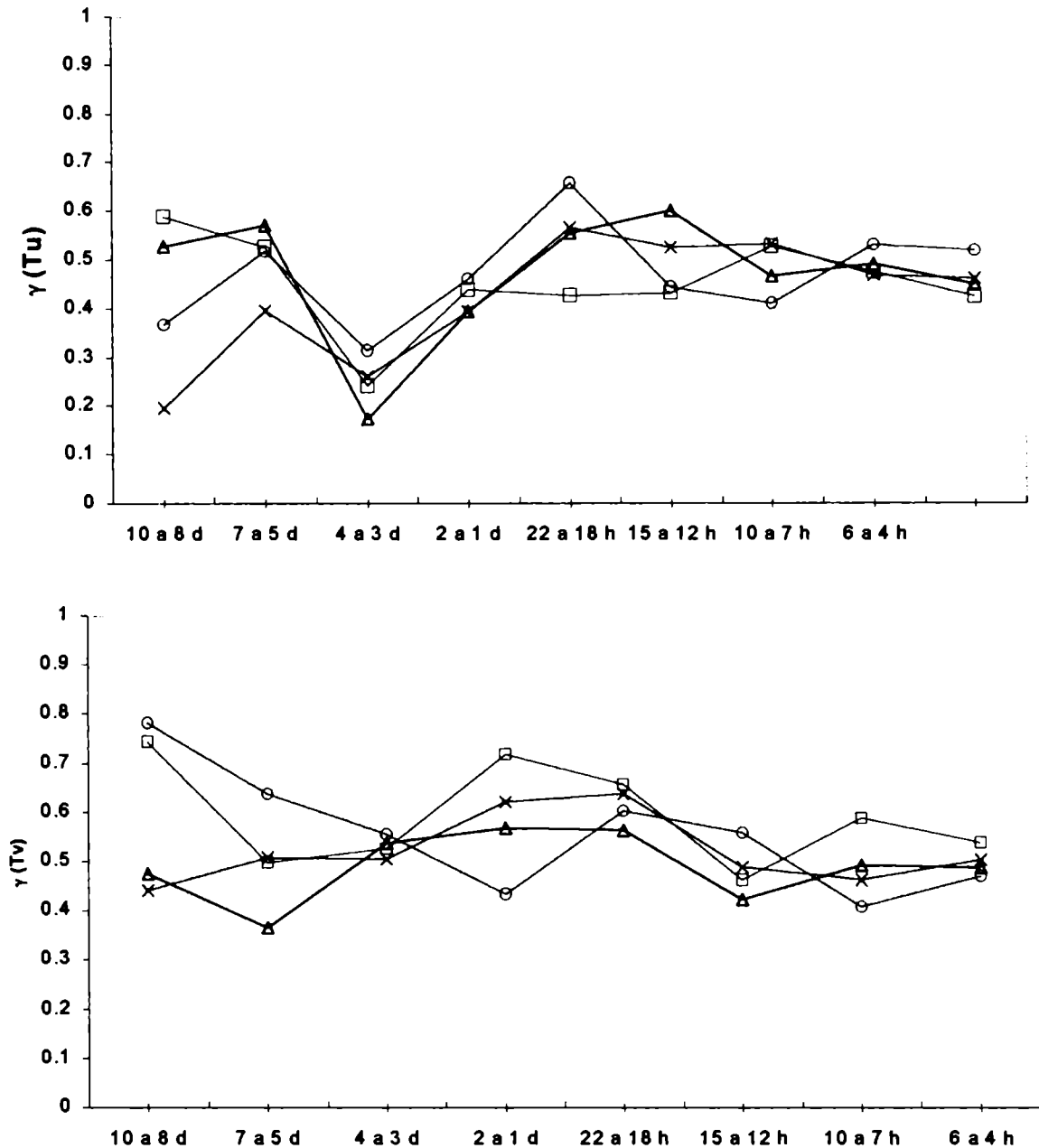


Fig. 9.35: Coherencia cuadrada media para intervalos de frecuencia asociados a máximos espectrales entre la temperatura del aire y las componentes u (arriba) y v (abajo) de la intensidad del viento en CBS (—△—), CBI (---×---), C52 (—○—) y CVS (—□—) en el período entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

La Figura 9.36 presenta la coherencia media en CLF entre el 13 y el 17 de octubre de 1993 y en C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993 entre 3 y 5 d y 5 a 10 min. Se observa un comportamiento aproximadamente constante en la coherencia entre la temperatura del aire y la componente u de la intensidad del viento, a partir del período de 8 h. En los períodos entre 5 y 3 d se presenta un máximo y se observa otro en períodos de 6 a 3 h en C52, tanto para la componente u como para la componente v. En CLF se insinúa un máximo relativo en la

coherencia en periodos entre 14 y 20 h en ambos casos.

La Figura 9.37 presenta la fase media para intervalos de frecuencia donde se observan máximos espectrales entre la temperatura del aire y las componentes u y v de la velocidad del viento en NA. Los desfases en baja frecuencia presentan valores negativos en los dos casos. Esta característica indicaría que las fluctuaciones en el viento preceden a cambios en las de la temperatura del aire con fases que varían de acuerdo con el año analizado.

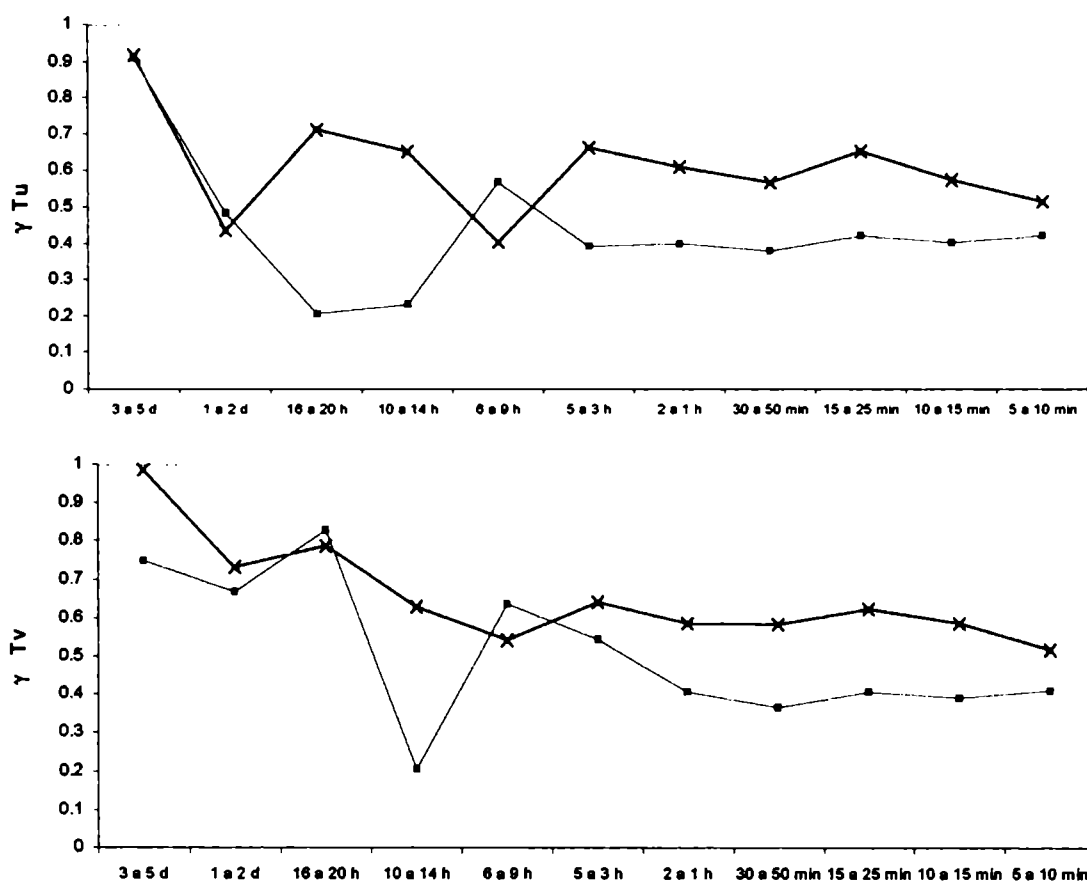


Fig. 9.36: Coherencia media para intervalos de periodos asociados a máximos espectrales entre la temperatura del aire y las componentes u (arriba) y v (abajo) de la intensidad del viento en CLF (—x—) entre el 13 y el 17 de octubre de 1993, y en C52 (---■---) entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993.

9.6.6 Fase entre la temperatura del aire y las componentes u y v de la intensidad del viento

En la mayoría de los rangos de frecuencia considerados, los desfases que se presentan son negativos y disminuyen al considerar periodos menores, indicando que para periodos menores a 1 d las fluctuaciones de la temperatura del aire y las componentes u y v de la intensidad del viento se presentan en fase. Desfasajes positivos se presentan para periodos entre 6 y 12 d. En septiembre y octubre de los dos años analizados en los fenómenos cuyos periodos se encuentran

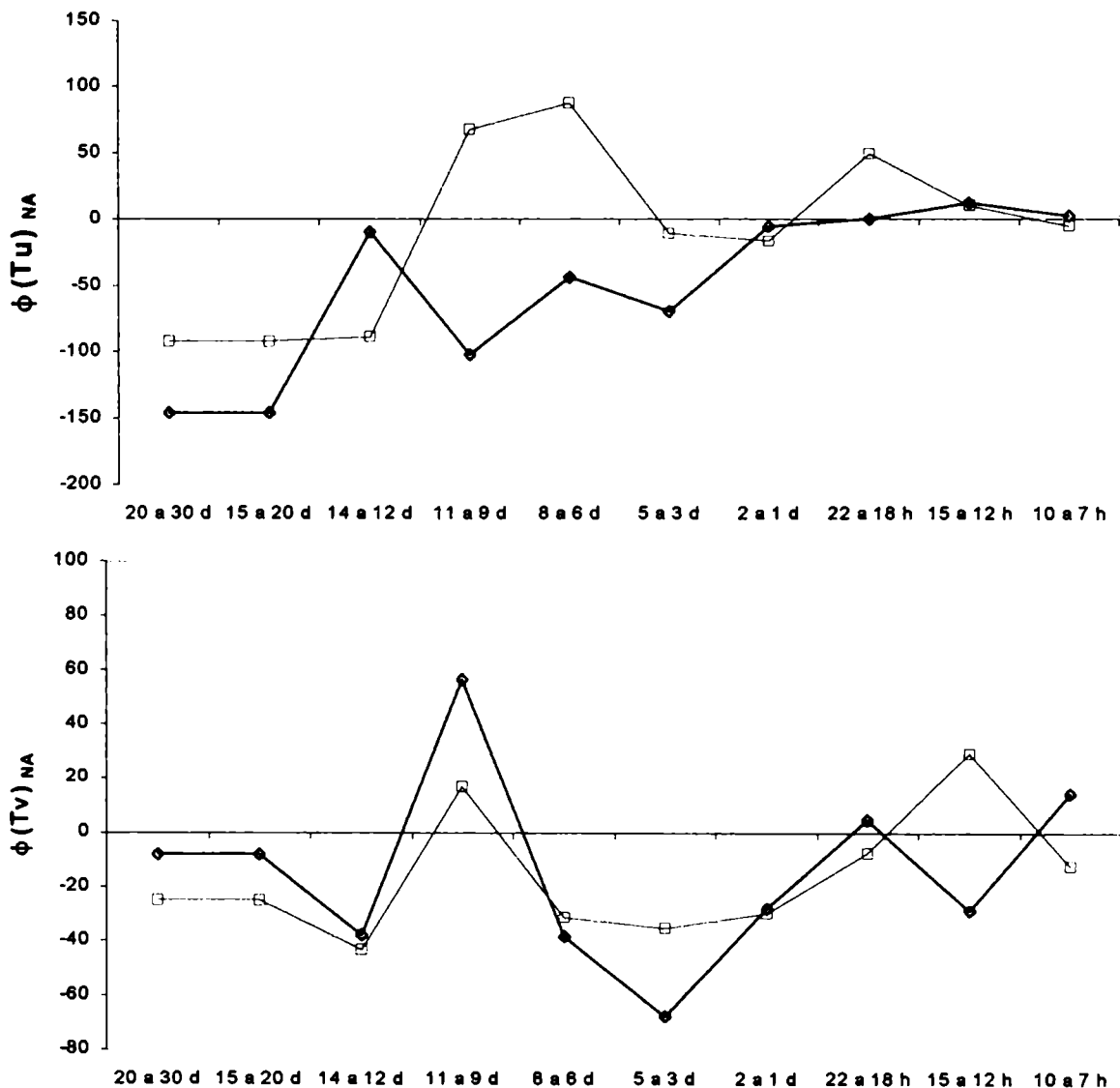


Fig. 9.37: Fase media para intervalos de período asociados a máximos espectrales entre la temperatura del aire y la componente u (arriba) y v (abajo) de la intensidad del viento en NA para septiembre y octubre de 1988 (—◇—) y 1989 (---□---).

entre 6 y 12 días las fluctuaciones de viento preceden a las de la temperatura. Resultados

obtenidos por Hartmann (1974) presentaron gran variabilidad anual y el máximo transporte de calor hacia el norte estaba acompañado de ondas con períodos entre 3 y 7 días que se desplazaban hacia el este.

En la Figura 9.38 se presenta el análisis para las estaciones CBS, CBI, CVS y C52 en el interior del valle, el máximo desfase se manifiesta en períodos entre 5 y 10 días, y presenta valores negativos entre la temperatura y la componente u y positivos entre la temperatura y la componente v.

En C52 y CLF en los días analizados, la fase sigue el patrón de los otros casos, presentando mayores desfases (mayores a 12°) en baja frecuencia en C52 y desfases negativos en la mayoría de las frecuencias en CLF (ver Figura 9.39).

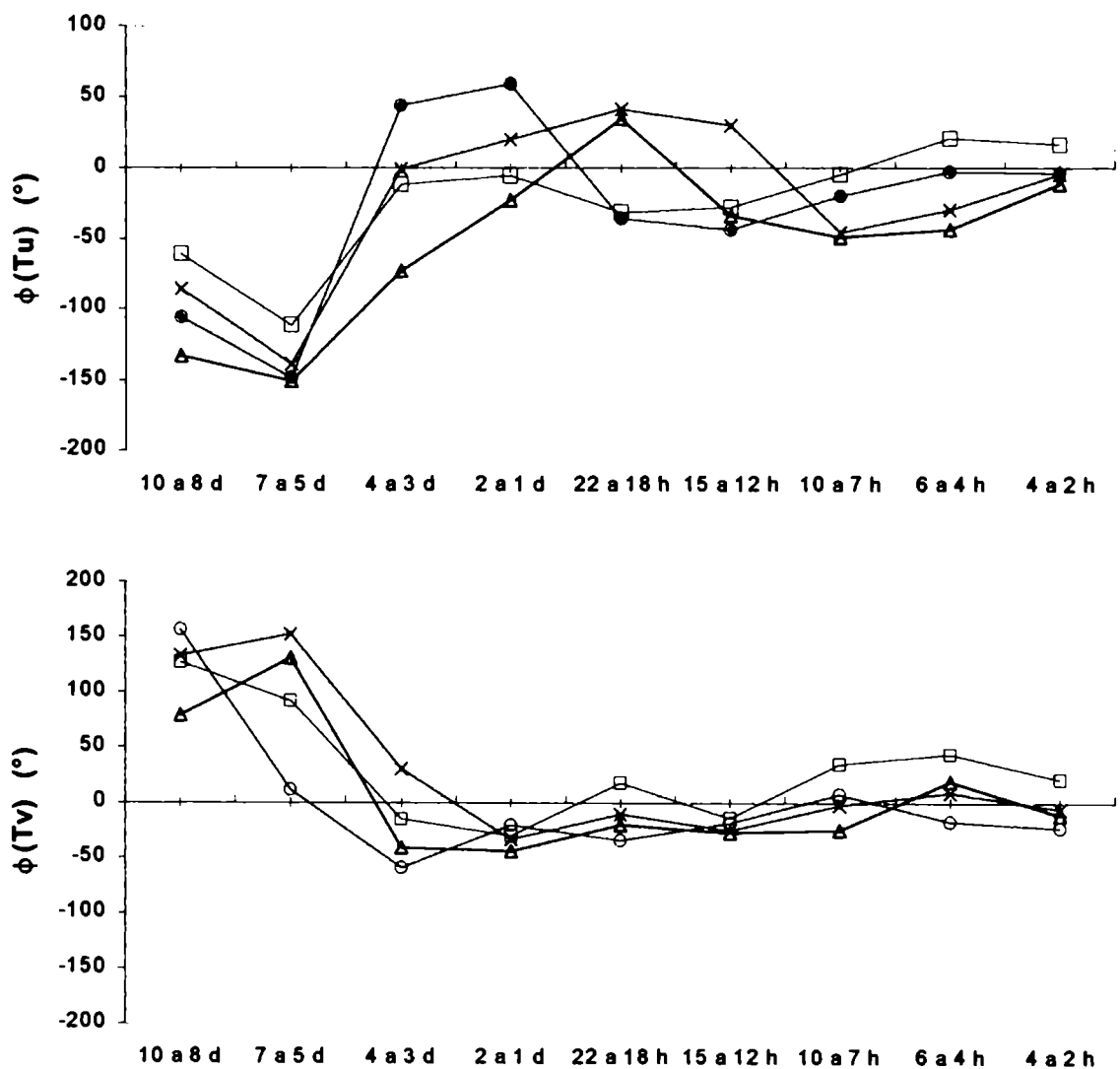


Fig. 9.38: Fase media para intervalos de periodo asociados a máximos espectrales entre la temperatura del aire y las componentes u (arriba) y v (abajo) de la intensidad del viento en CBS (—△—), CBI (---×---), C52 (—○—) y CVS (—□—) entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

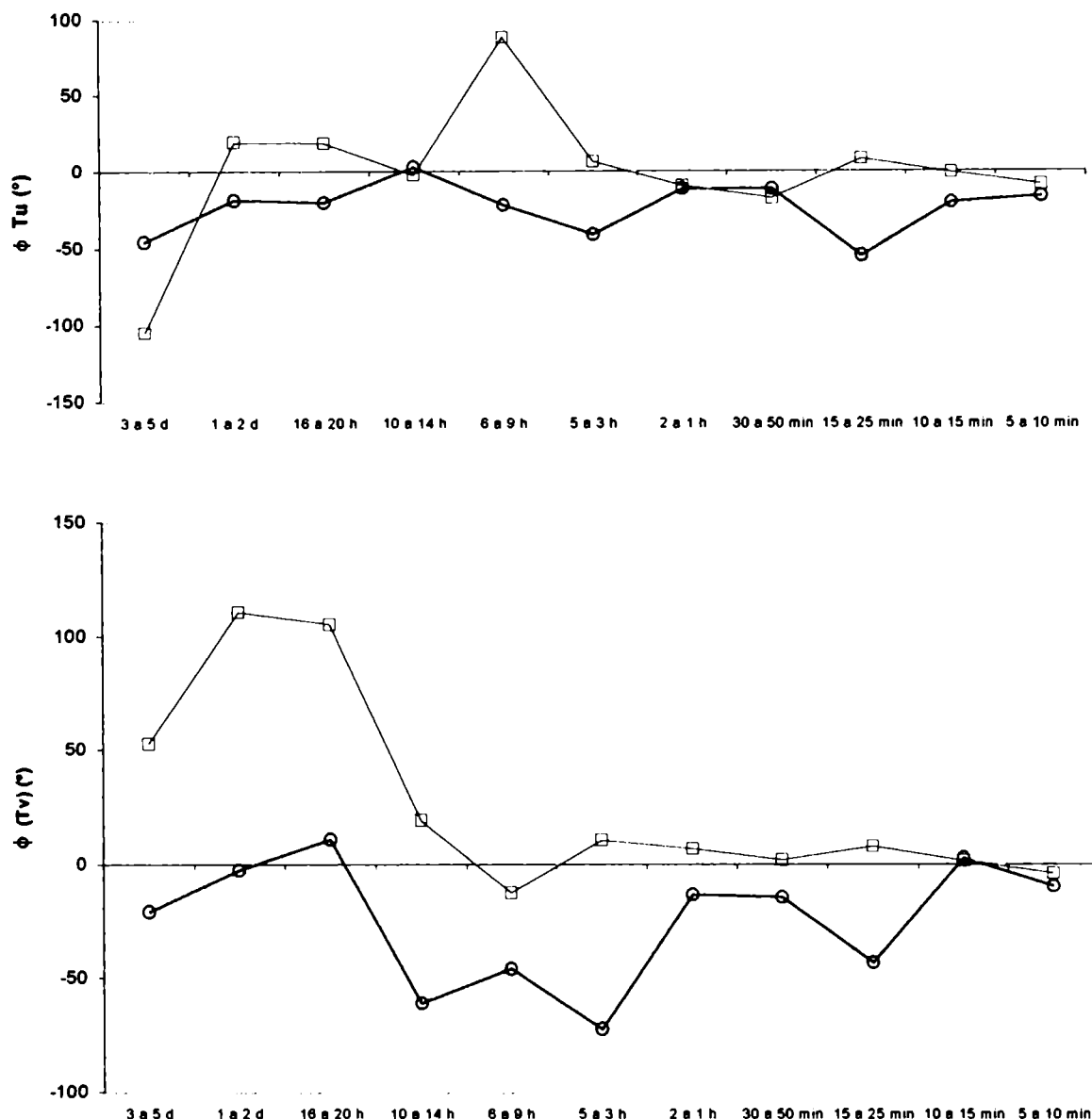


Fig. 9.39: Fase media para intervalos de período asociados a máximos espectrales entre la temperatura del aire y las componentes u (arriba) y v (abajo) de la intensidad del viento en CLF entre el 13 y el 17 de octubre de 1993 y en C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993 C52 (—□—) y CVS (—○—).

RESUMEN

El espectro cruzado entre la temperatura del aire y las componentes u y v de la intensidad del viento en NA presenta valores máximos de amplitud en periodos de 12 a 15 días y 3 a 7 días, similares a los encontrados por Hartmann (1974). Los valores máximos del espectro cruzado en CBI, CBS, C52 y CVS se presentan en periodos similares, pero el valor es aproximadamente dos veces mayor en CBI. Los menores valores se presentan en CVS; este efecto se debería a la

diferencia en el intervalo entre observaciones.

Los máximos de la amplitud cruzada entre la temperatura del aire y la componente v del viento en NA, se presentan en períodos similares a los de la componente u , en baja frecuencia. Pero, en frecuencias más altas se distinguen máximos entre 18-19 h y entre 11 y 12 h y en 8 h. En CBI y CBS los valores de amplitud asociados al transporte horizontal de temperatura en la dirección W-E son mayores que los transportes en la dirección S-N. En C52 y CVS el comportamiento es inverso, obteniéndose transportes horizontales de temperatura mayores en la dirección S-N.

El coespectro entre la temperatura del aire y las componentes del viento presenta máximos positivos en los períodos de 12 d, 7 d, 31 h, 15 h y 12 h, dado que durante esos meses la mayor frecuencia de la dirección del viento fue del W, el transporte sería hacia el E. Sitamarán (1970) encontró que los transportes horizontales de temperatura eran muy dispersos en frecuencias bajas y que el flujo horizontal de calor era en la dirección contraria al viento, los obtenidos en este trabajo refuerzan este resultado. En períodos de 17 d, 40 h, y 8 h se presentaron valores negativos, o sea que transporte de temperatura es hacia el W.

Las fluctuaciones cada 15 h podrían asociarse a los intercambios de temperatura entre la meseta y el valle debido a las diferencias de presión que alcanzan máximos y mínimos cada 8-9 h y que producirían viento valle arriba durante el día y valle abajo durante la noche.

En CBS, CBI, C52 y CVS, entre el 1 y el 13 de octubre de 1994, el coespectro entre las componentes u y v de la intensidad del viento presenta valores negativos. En ese período, la dirección más frecuente del viento fue W (ver Capítulo 5), por lo que el flujo sería desde el E.

El espectro de cuadratura entre la temperatura del aire y la componente v de la velocidad de viento en NA en septiembre y octubre de 1988 y 1989 para períodos entre 3 y 8 días muestra valores negativos. Es decir, que cuando T y v están desfasadas en $\pm\pi/2$, el transporte de las fluctuaciones con períodos entre 3 y 8 d es en la dirección del viento.

En todos los casos analizados, los espectros de cuadratura entre la temperatura del aire y la componente u de la intensidad del viento en cada estación son similares en su forma. En cambio el espectro de cuadratura de la temperatura con la componente v , presenta características que varían con la estación meteorológica considerada.

La coherencia media entre la temperatura del aire y las componentes u y v de la intensidad del viento en NA, en períodos mayores a 4 d presenta mayor dispersión, y a medida que disminuye el período de las fluctuaciones consideradas varía alrededor de 0.5. El comportamiento de la coherencia entre la temperatura del aire y la componente v , presenta un comportamiento similar, aunque con mayor dispersión en frecuencias más bajas según el año. El cuadrado de la coherencia en las estaciones ubicadas en el interior del valle presenta características similares, al considerar ambas componentes.

La fase media entre la temperatura del aire y las componentes u y v de la intensidad del viento en NA presentan valores negativos. Esta característica indicaría que las fluctuaciones en el viento preceden a cambios en la temperatura del aire variando de acuerdo al año. En la mayoría de los rangos de frecuencia considerados los desfases que se presentan son negativos y disminuyen al considerar períodos menores y para períodos menores a 1 d las fluctuaciones entre la temperatura del aire y las componentes u y v del viento se presentan en fase.

9.7 TRANSPORTE HORIZONTAL DE CANTIDAD DE MOVIMIENTO

9.7.1 Generalidades

De manera similar a lo explicado previamente en el punto 9.6, el término $\overline{u'v'}$ que es proporcional al transporte horizontal de cantidad de movimiento, puede estimarse mediante el coespectro y el espectro de cuadratura entre las componentes u y v de la intensidad del viento. La covarianza entre la componente u y la componente v de la intensidad del viento pueden ser relacionados con los transportes horizontales de cantidad de movimiento en superficie

$$\rho \overline{V'V'} \quad (9.9)$$

Los términos de la ecuación de movimiento:

donde ρ es la densidad y V' es el vector viento, representan los transportes de cantidad de movimiento (impulso lineal). Es conveniente descomponer V utilizando las aproximaciones de Reynolds (Panofsky y Dutton, 1984):

$$\begin{aligned} V &= \overline{V} + V' \\ \text{por lo tanto:} \\ \overline{VV} &= \overline{V} \overline{V} + \overline{V'V'} \end{aligned} \quad (9.10)$$

En el caso turbulento, al transporte del viento medio se le adicionan los términos:

$$\overline{\rho V'V'} \quad (9.11)$$

donde V' es el apartamiento con respecto al flujo medio. Esta contribución (9.10) se denomina tensiones turbulentas o de Reynolds.

De todas las cantidades examinadas, las mayores diferencias entre estaciones se dan en el transporte de cantidad de movimiento.

9.7.2 Espectro cruzado entre las componentes u y v de la intensidad del viento

Se obtuvo la densidad espectral cruzada normalizada entre las componentes u y v de la intensidad para estimar el transporte horizontal de cantidad de movimiento a partir de los datos horarios en NA, CS, AV, VR, cada 15 min en CBS, CVS, C52 y cada 1 min en las estaciones, C52 y CLF.

La Figura 9.40 presenta la densidad espectral cruzada normalizada entre las componentes u y v de la intensidad del viento en NA correspondientes a septiembre y octubre de 1988 y 1989. Los máximos se presentan en 21 d y entre 7 y 11 d, además, se observan picos para períodos de 2-3 d y 19 h.

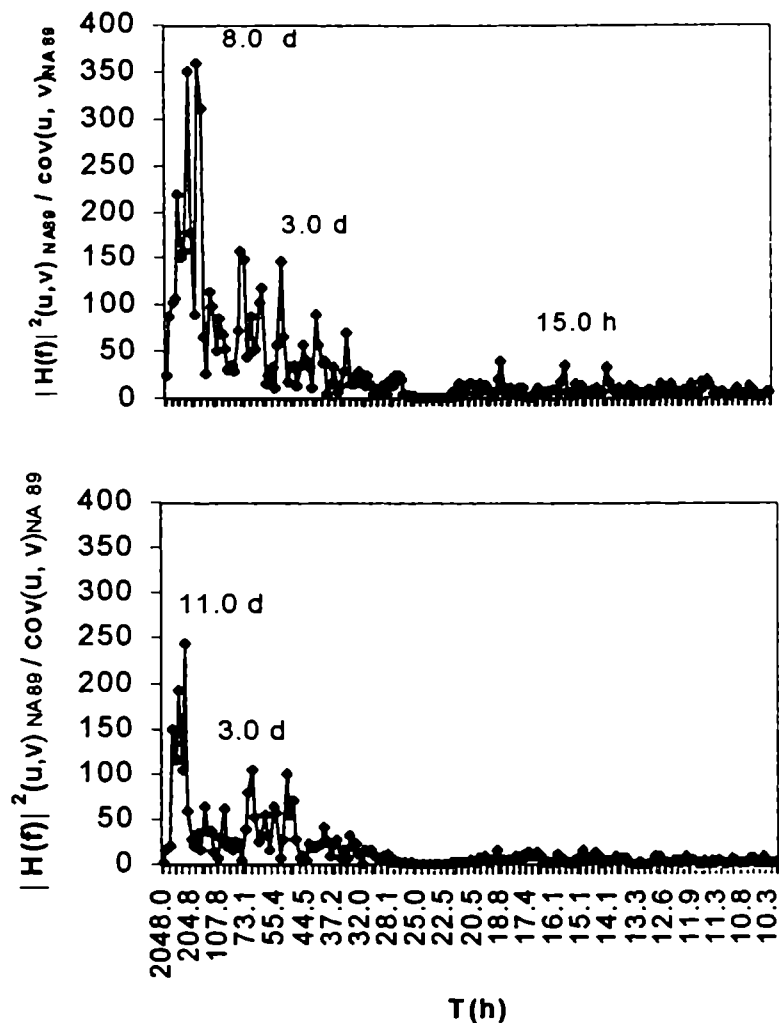


Fig. 9.40: Densidad espectral cruzada normalizada (amplitud) entre las componentes u y v de la intensidad del viento en NA para septiembre y octubre de 1988 (arriba) y 1989 (abajo).

La Figura 9.41 presenta la densidad espectral cruzada normalizada entre las componentes u y v de la intensidad del viento en CBS, CVS y C52 entre el 1 y el 13 de octubre de 1994. Los mayores valores de amplitud, se presentan en CBS y los períodos preferenciales son 4 d, 2 d y 19 h.

Un análisis similar se muestra en la Figura 9.42 para las componentes u y v de la intensidad del viento en C52 entre el 1 y el 5 de octubre de 1993 y en CLF entre el 13 y el 17 de septiembre de 1993. En C52 se presentan máximos en períodos de 11 h, 8 h y 6 h y en CLF en períodos de 2d y en la onda diaria y se hace visible un máximo en períodos de 8 h.

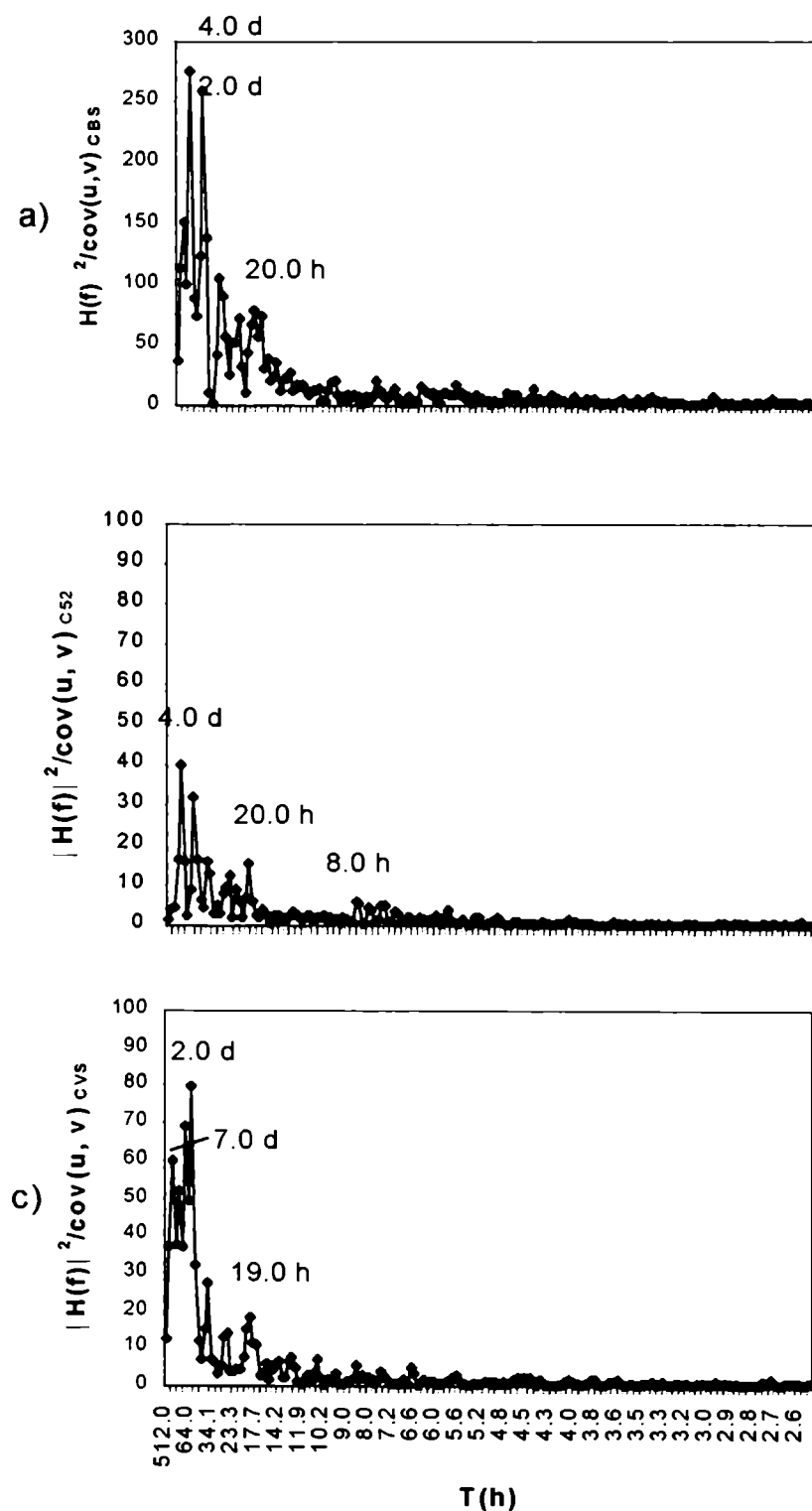


Fig. 9.41: Densidad espectral cruzada normalizada entre las componentes u y v de la intensidad del viento en CBS (a), C52 (b) y CVS (c) entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

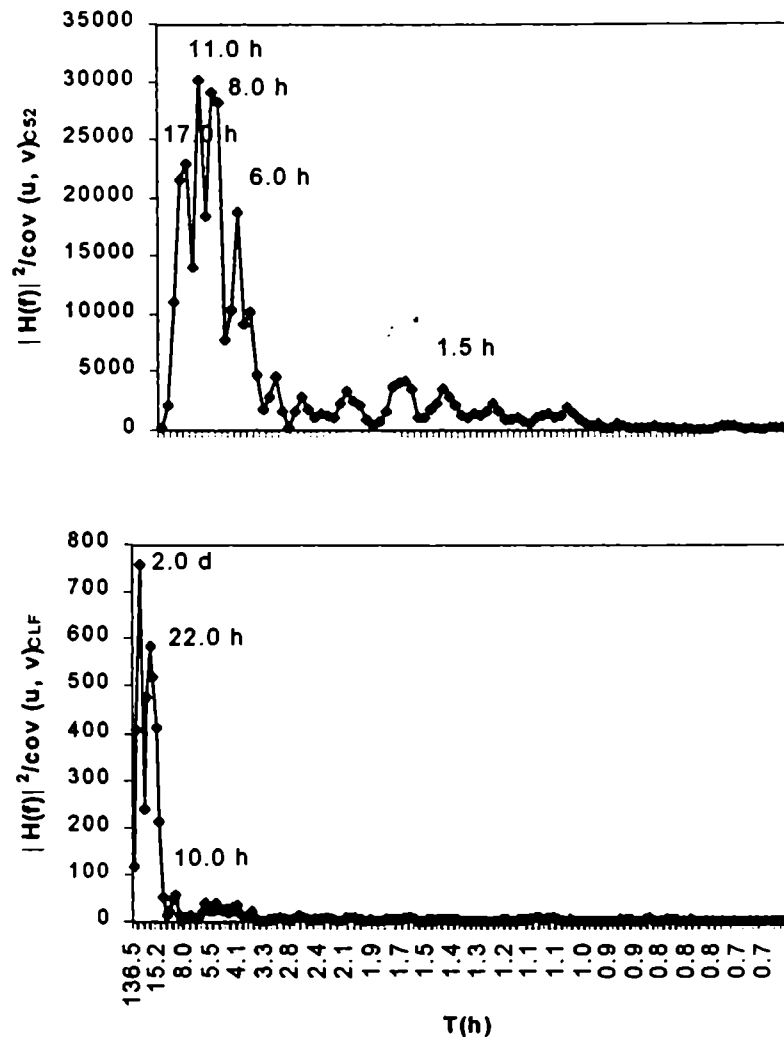


Fig. 9.42: Densidad espectral cruzada normalizada entre las componentes u y v de la intensidad del viento en CLF entre el 13 y el 17 de octubre de 1993 y en C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993.

9.7.3 Coespectro de las componente u y v de la intensidad del viento

Las covarianzas entre las componentes en fase de la intensidad del viento se obtuvieron mediante el cálculo del coespectro normalizado de la componentes u y v de la intensidad del viento en NA correspondientes a septiembre y octubre de 1988 y 1989 (ver Figura 9.43). Los valores correspondientes a los máximos se detallan en la Tabla 9.xvii. Se presentan máximos positivos en periodos de 21 d y en 11 d y en frecuencias menores en 19 h y 14 h. Un máximo negativo importante puede apreciarse en periodos de 7 - 8 d.

Hess y Clarke, (1973) observaron un pico alrededor de 7 d y mostraron que entre 1 y 2 días existe una tendencia a que la covarianza adquiriera valores negativos. Sus resultados mostraron además, máximos en 14 y 21 días en todos los niveles. Máximos similares se encuentran en NA y la onda diaria presenta valores variables en cuanto a su signo.

La Figura 9.44 presenta el coespectro entre las componentes u y v de la intensidad del viento entre el 1 y el 13 de octubre de 1994 en CBS, CVS y C52. El comportamiento en bajas frecuencias es dispar, mientras que para periodos entre 2 d y 18 h los máximos se presentan en periodos similares en todas las estaciones (ver Tabla 9.xviii).

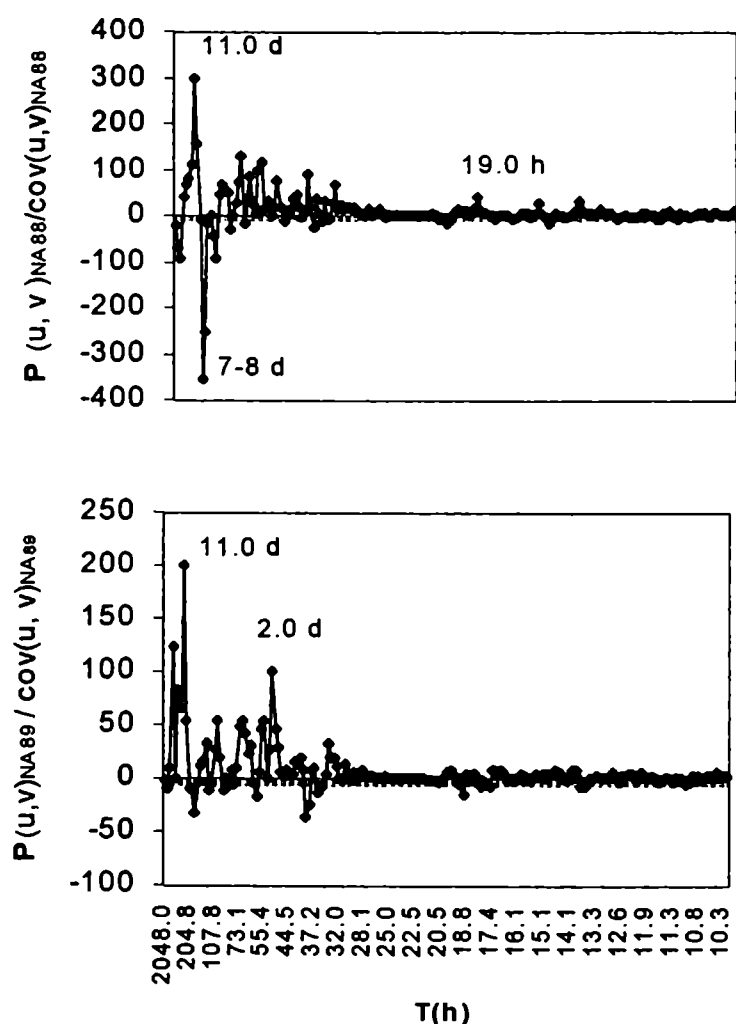


Fig. 9.43: Coespectro normalizado de la componente u y v de la intensidad del viento en NA para septiembre y octubre de 1988 (arriba) y 1989 (abajo).

Tabla 9.xvii: Valores máximos del coespectro y del espectro de cuadratura normalizados entre las componentes u y v de la intensidad viento en NA en el periodo septiembre y octubre de 1988 y 1989.

| P_{NA} | | | Q_{NA} | | |
|----------|--------|-------|----------|--------|-------|
| Período | 1988 | 1989 | Período | 1988 | 1989 |
| 21 d | np | 123.7 | 21 d | -100.5 | 82.8 |
| 11 d | 290.9 | 200.8 | 14 d | np | 172.7 |
| 7-8 d | -253.4 | -32.9 | 9 d | -89.2 | .np |
| 2-3 d | 117.0 | 100.3 | 7 d | 178.5 | 61.3 |
| 19 h | 38.5 | 14.9 | 3 d | 147.2 | 87.6 |
| 14 h | 31.9 | 4.0 | 2 d | -53.6 | 63.0 |

Tabla 9.xviii: Valores máximos del coespectro (P) y del espectro de cuadratura (Q) normalizados entre las componentes u y v de la intensidad del viento a partir de la información obtenida cada 15 min entre el 1 y el 13/10/94 en CBS, C52 y en CVS cada 30 min. (np: no presenta).

| Período | P | | | Período | Q | | |
|---------|--------|------|-------|---------|-------|-----|------|
| | CBS | C52 | CVS | | CBS | C52 | CVS |
| 5 d | np | 90.5 | np | 2 d | 104.9 | np | 10.2 |
| 4 d | np | np | -19.9 | 1 d | -46.6 | 6.6 | 8.5 |
| 2 d | -110.0 | 81.2 | -12.3 | 14-18 h | 188.4 | 8.9 | 4.6 |
| 1 d | 170.9 | 21.0 | -25.1 | 9 h | 75.0 | 4.8 | 5.9 |
| 18 h | -42.4 | 3.1 | -7.9 | 4-5 h | 50.2 | 3.1 | 1.7 |
| 5 h | -38.9 | np | np | | | | |

La Figura 9.45 presenta el coespectro entre u y v en CLF y C52, obtenidos a partir de datos cada 1 minuto en periodos no simultáneos. Los máximos se presentan en periodos entre 2 d y 15 h, aunque en C52 los periodos son algo menores. Los máximos de alta frecuencia se presentan en CLF en periodos de 6 h y en C52 también en periodos de 3.5 h. En alta frecuencia el espectro muestra poca estabilidad.

Tabla 9.xix: Valores máximos del coespectro (P) y el espectro de cuadratura (Q) normalizados entre las componentes u y v de la intensidad del viento a partir de la información obtenida cada 1 min entre el 13 y el 17/10/93 en CLF y entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993 en C52 (np: no presenta).

| Período | P (u, v) | | Período | Q (u, v) | |
|---------|----------|---------|---------|----------|---------|
| | CLF | C52 | | CLF | C52 |
| 1.5-2 d | 419.3 | -8288.4 | 2 d | -506.3 | 4230.4 |
| 15-17 h | 627.7 | 14239.9 | 1 d | 278.9 | -2800.8 |
| 8-9 h | 76.8 | -2637.7 | 13-15h | -245.9 | 12781.9 |
| 5 h | 104.4 | np | 5 h | -1.4 | 1551.7 |
| 4 h | np | 1145.9 | | | |

Hess y Clarke (1973) atribuyen el máximo de aproximadamente 20 h a la oscilación inercial de la atmósfera, hipótesis que refuerzan encontrando un desfase de 90° en dichas frecuencias, que es lo esperado en condiciones del Hemisferio Sur con u precediendo a v.

El período de la oscilación inercial está dado por:

$$T = 2 \frac{\pi}{f_0} = \frac{\pi}{\omega \sin \phi} = 12 \frac{h}{\sin \phi_0} \quad (9.12)$$

considerando que para el valor del parámetro de Coriolis (f_0) en la latitud del valle (39°) el período de la oscilación inercial es de 19.1 h (ver Necco, 1980).

En los coespectros, se observan máximos entre 18 y 20 h que podrían atribuirse a la oscilación inercial, aunque en los casos analizados no se detectó el desfase de $\pi/2$ que correspondería a la misma.

9.7.4 Espectro de cuadratura entre las componentes u y v de la intensidad del viento

La Figura 9.46 presenta el espectro de cuadratura normalizado entre las componentes u y v de la intensidad del viento en NA para septiembre y octubre de 1988 y 1989. Los valores correspondientes a los máximos se detallan también en la Tabla 9.xvii. Se presentan máximos positivos en períodos de 21 d, y en 14 d y 9 d en los dos años. Estos máximos presentan diferentes signos según el caso analizado. En frecuencias menores se presentan principalmente máximos positivos en 7 d, 2-3 d, y 11 h.

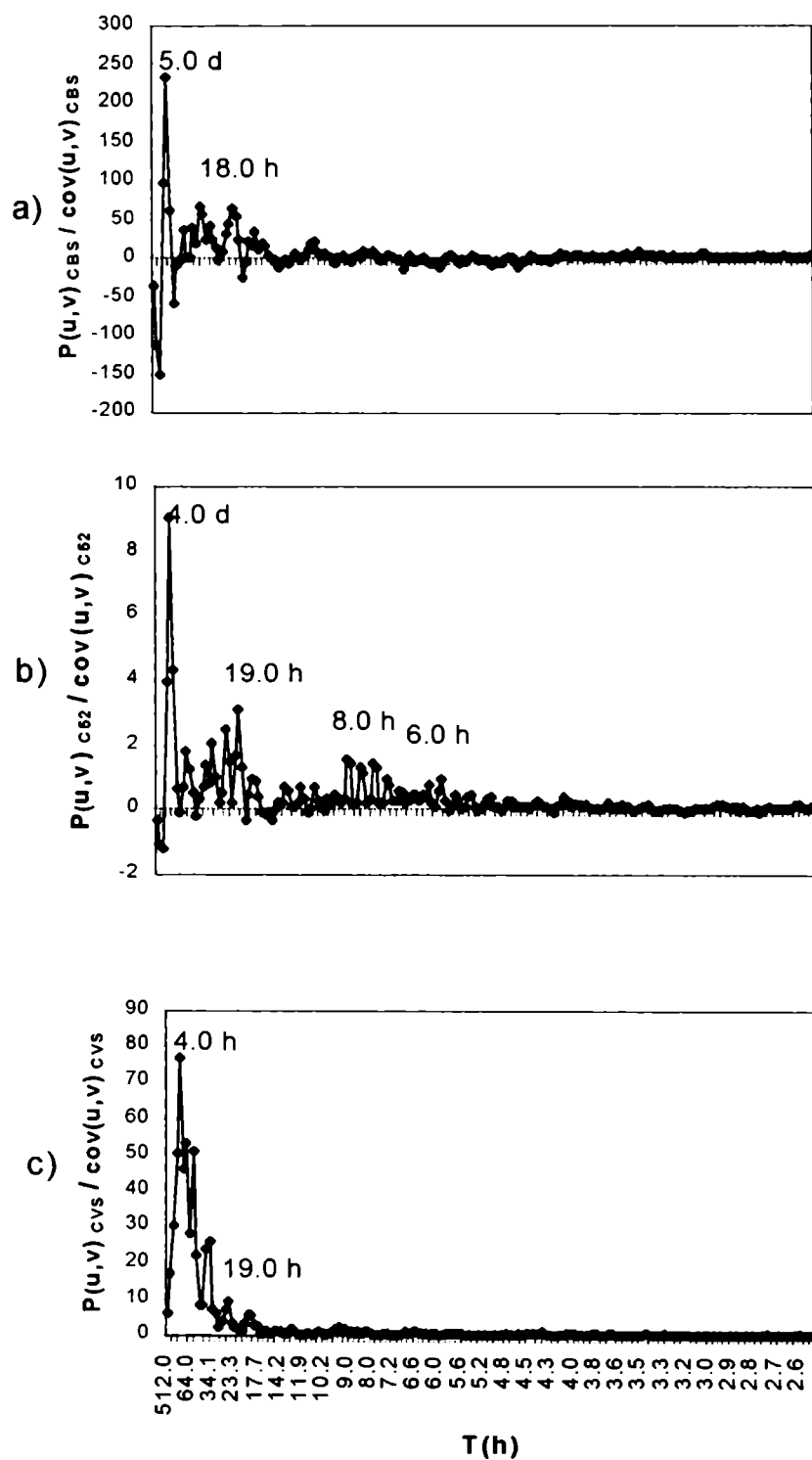


Fig. 9.44: Coespectro normalizado entre las componentes u y v de la intensidad del viento en CBS,(a), C52 (b) y CVS c) entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

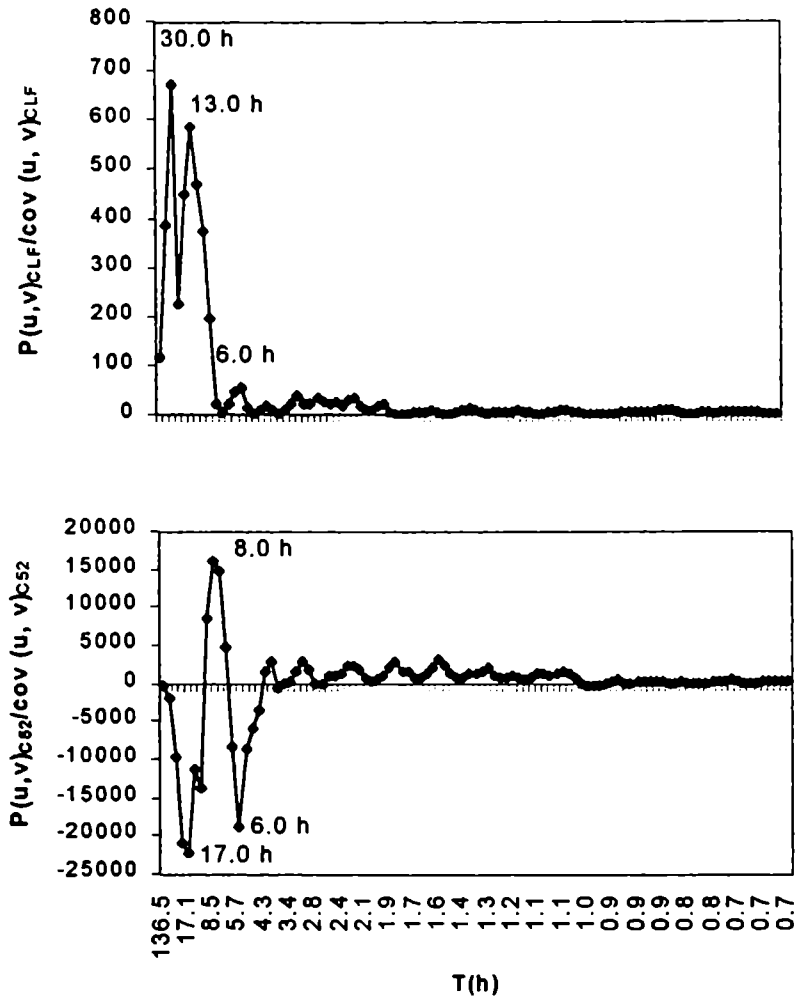


Fig. 9.45: Coespectro normalizado entre las componentes u y v de la intensidad del viento en CLF entre el 13 y el 17 de octubre de 1993 y en C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993.

La Figura 9.47 presenta el espectro de cuadratura normalizado entre las componentes u y v de la intensidad del viento en CBS, CVS y C52 para el período comprendido entre el 1 y el 13 de octubre de 1994. En el caso del máximo asociado al ciclo diurno sus valores son positivos en CBS y C52 y negativo en CVS. Se presentan máximos positivos (ver Tabla 9.xviii) para períodos de 2 d. En el caso del máximo asociado al ciclo diurno sus valores son positivos en CBS y C52 y negativo en CVS.

La Figura 9.48 presenta el espectro de cuadratura normalizado entre las componentes u y v de la intensidad del viento en CLF y C52 en frecuencias mayores, obtenidos a partir de datos cada 1 minuto en períodos no simultáneos en CLF entre el 13 y el 17 de octubre de 1993 y en C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993. Los máximos de alta frecuencia se presentan en

períodos de 5 h. El máximo positivo más pronunciado se presenta en períodos entre 13 y 15 h en C52 (ver Tabla 9.xix).

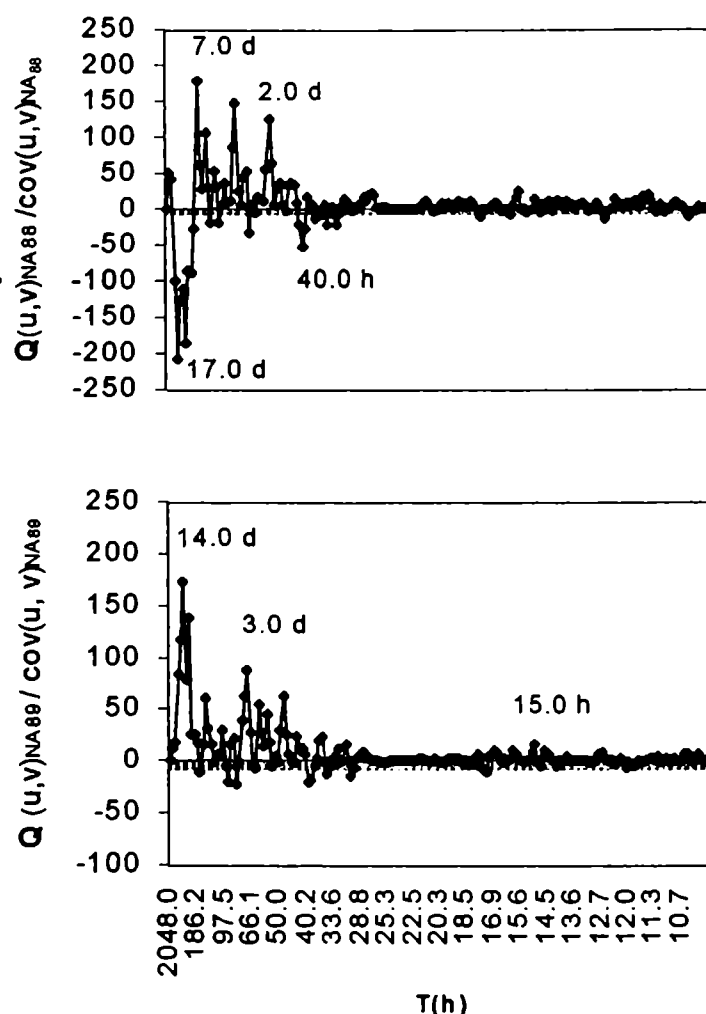


Fig.9.46: Espectro de cuadratura normalizado entre las componentes u y v de la intensidad del viento en NA, para septiembre y octubre de 1988 (arriba) y 1989 (abajo)

Hess y Clarke (1973) encontraron mayores valores de transportes horizontales de cantidad de movimiento positivos en bajas frecuencias en niveles bajos, que interpretaron como transportes de cantidad de movimiento hacia el Ecuador de los vientos con componente del W en datos correspondientes a meses invernales.

Clarke y Stuckler (1972) encontraron máximos en períodos de 5 días en el H.S. Los valores hallados en NA, no muestran un ciclo predominante en períodos de 5 días, pero debido al hecho de que los intercambios horizontales de cantidad de movimiento muestran variabilidad estacional, podrían no ser detectados en los datos de septiembre y octubre.

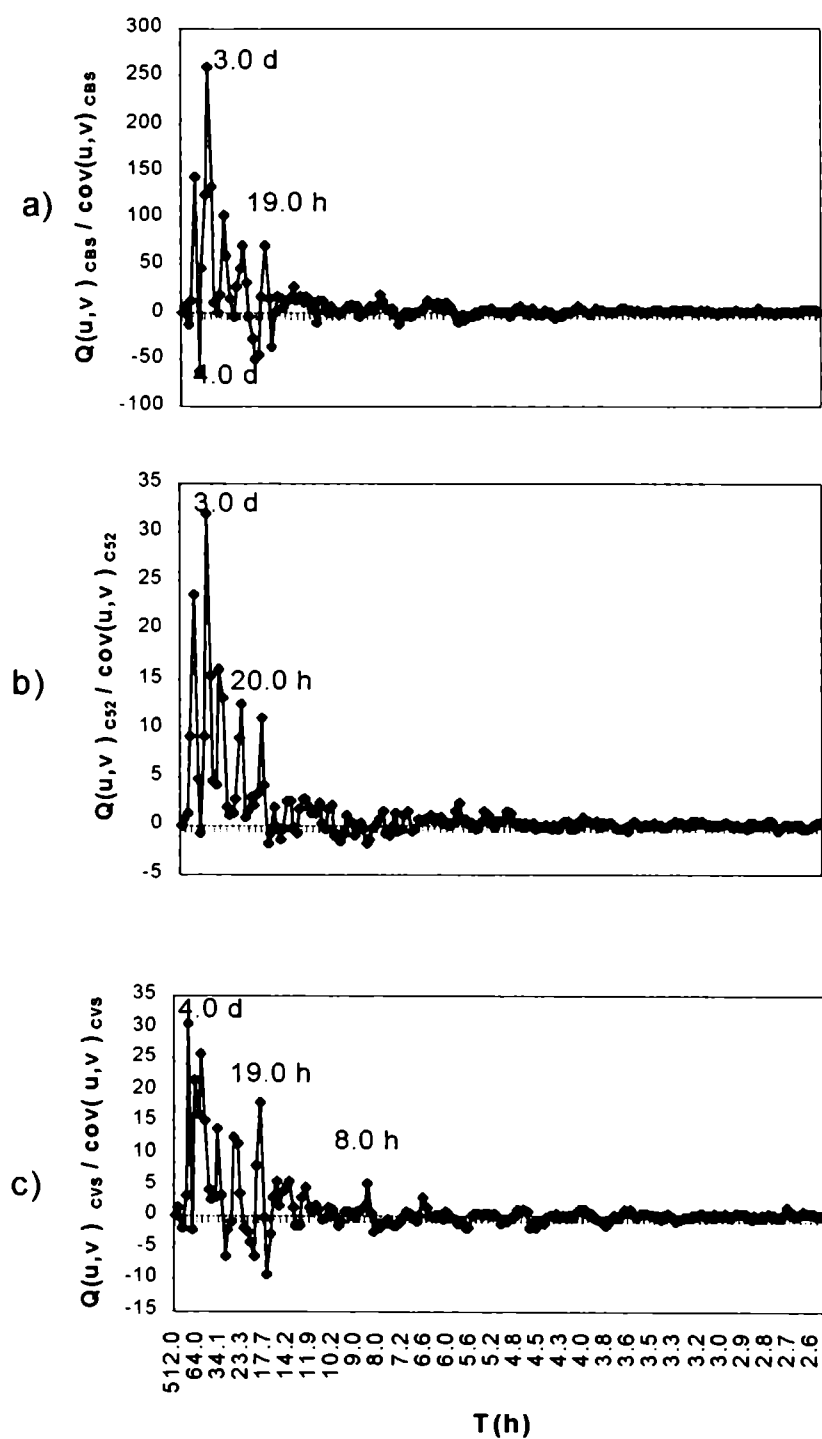


Fig. 9.47: Espectro de cuadratura normalizado de las componentes u y v de la intensidad del viento en CBS, C52 y CVS entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

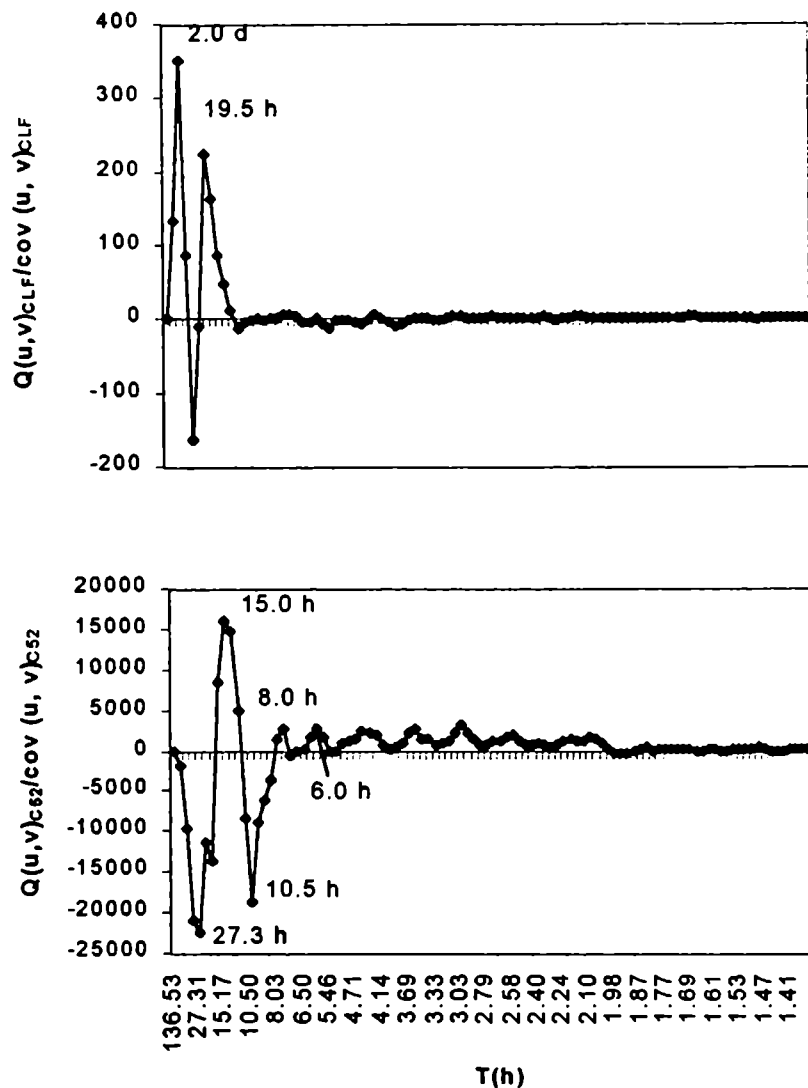


Fig. 9.48: Espectro de cuadratura normalizado de entre las componentes u y v de la intensidad del viento en CLF entre el 13 y el 17 de octubre de 1993 y en C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993.

Hartmann (1974) puntualizó, que los estimadores de $\overline{u'v'}$ son muy inestables, debido a que el término cambia de signos varias veces en el período analizado. Esto provoca una falta de coherencia en el establecimiento de la fase. Hartmann (1974) discriminó una preferencia por periodos de 30 d que no son observados en el presente trabajo.

9.7.5 Coherencia entre las componentes u y v de la intensidad del viento:

La Figura 9.49 presenta el cuadrado de la coherencia media para intervalos de frecuencia asociados a máximos espectrales de las componentes u y v de la intensidad del viento en NA en septiembre y octubre de 1988 y 1989. Se puede apreciar una relación común en ambos años, con máximos insinuados entre 12 y 14 d y entre 20 y 24 h poniendo de manifiesto la onda diaria. El valor medio de la correlación es 0.5, presentando una leve disminución hacia períodos más altos.

En C52, CVS y CBS en el período comprendido entre el 1 y el 13 de octubre de 1994 se aprecian valores mayores de coherencia en los períodos más bajos, con máximos entre 12 h y 15 h.

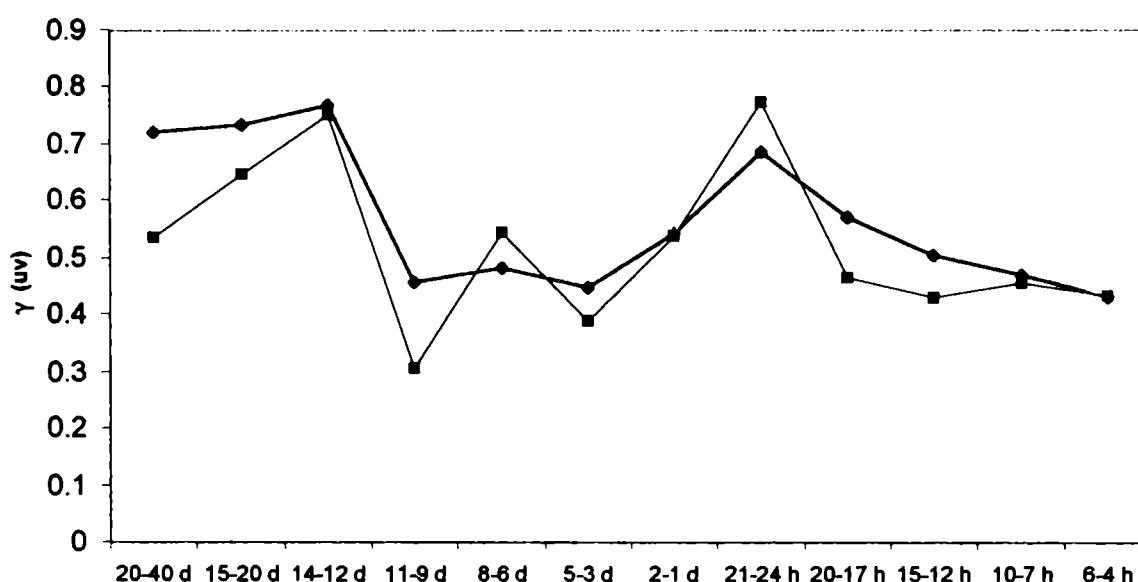


Fig. 9.49: Coherencia media al cuadrado para intervalos de período asociados a máximos espectrales entre las componentes u y v de la intensidad de la intensidad del viento en NA para septiembre y octubre de 1988 (—◇—) y 1989 (—□—).

El cuadrado de la coherencia oscila alrededor de 0.5 en las frecuencias más altas (ver Figura 9.50).

En CLF entre el 13 y el 17 de octubre de 1993 y en C52 en el período comprendido entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993, se observan valores mayores de coherencia en rangos de 3 a 5 h y 16 a 20 h. En C52 se presentan valores altos de coherencia en bajas frecuencias y un máximo importante en períodos de 3 a 5 h (ver Figura 9.51).

9.7.6 Fase entre las componentes u y v de la intensidad del viento

En las Figuras 9.52 se presenta la fase media en los períodos en los cuales se observan máximos espectrales entre las componentes u y v de la intensidad del viento en NA para los datos horarios de los meses de septiembre y octubre de 1988 y 1989. El comportamiento en

períodos más altos presenta diferencias marcadas en uno y otro año.

La Figura 9.53 describe la fase media correspondiente a CBS, C52 y CVS en el período entre el 1 y el 13 de octubre de 1994 y en la Figura 9.54 se presenta un análisis similar para C52 en el período entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993 y en CLF entre el 13 y el 17 de octubre de 1993. Como característica común a todas las series analizadas se presenta un desfase positivo en los períodos más bajos, indicando que las fluctuaciones en u se presentan con anterioridad a las fluctuaciones en v . En C52 se presentan los menores desfases. En las series de 1993, CLF presenta valores significativos al 95% (mayores a 25°) para todos los intervalos en períodos menores a 4 d (el error del ángulo de fase calculado fue $\pm 12^\circ$, ver Jenkins y Watts, 1968).

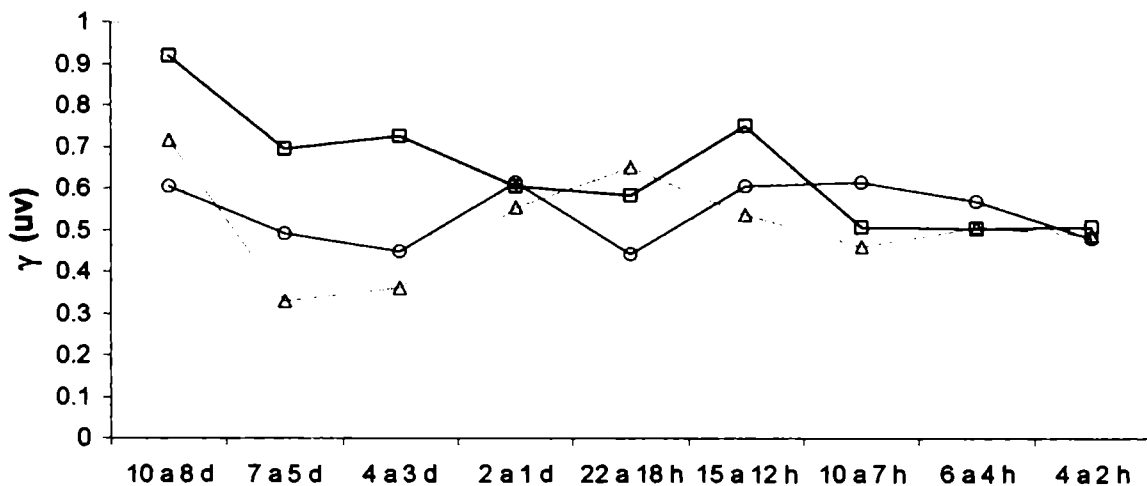


Fig.9.50: Cuadrado de la coherencia media para intervalos de período asociados a máximos espectrales de la componentes u y la componente v de la intensidad del viento en CBS (—Δ—), C52 (—○—) y CVS (—□—) entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

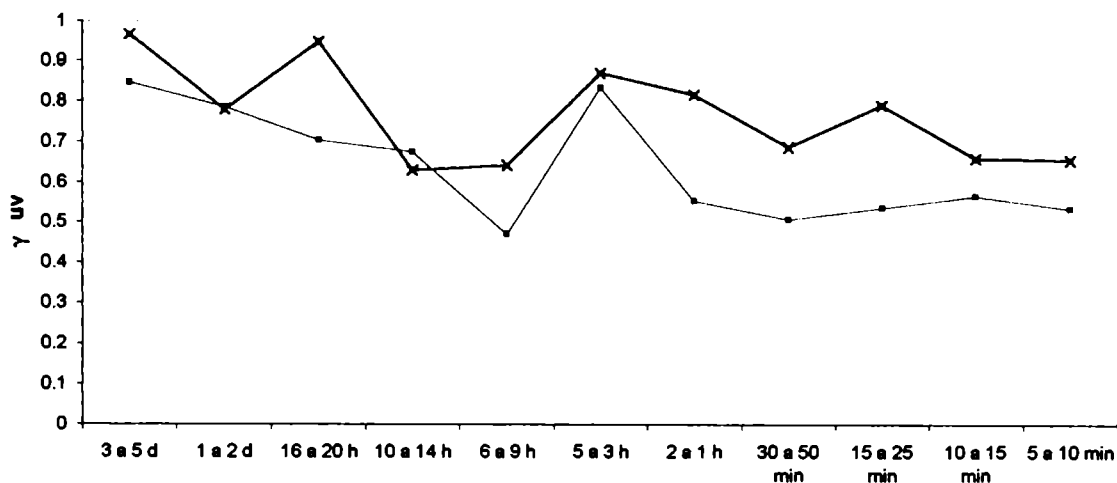


Fig. 9.51: Cuadrado de la coherencia media para intervalos de período asociados a máximos espectrales de la componentes u y la componente v de la intensidad del viento en CLF (—x—) entre el 13 y el 17 de octubre de 1993 y en C52 (—■—) entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993.

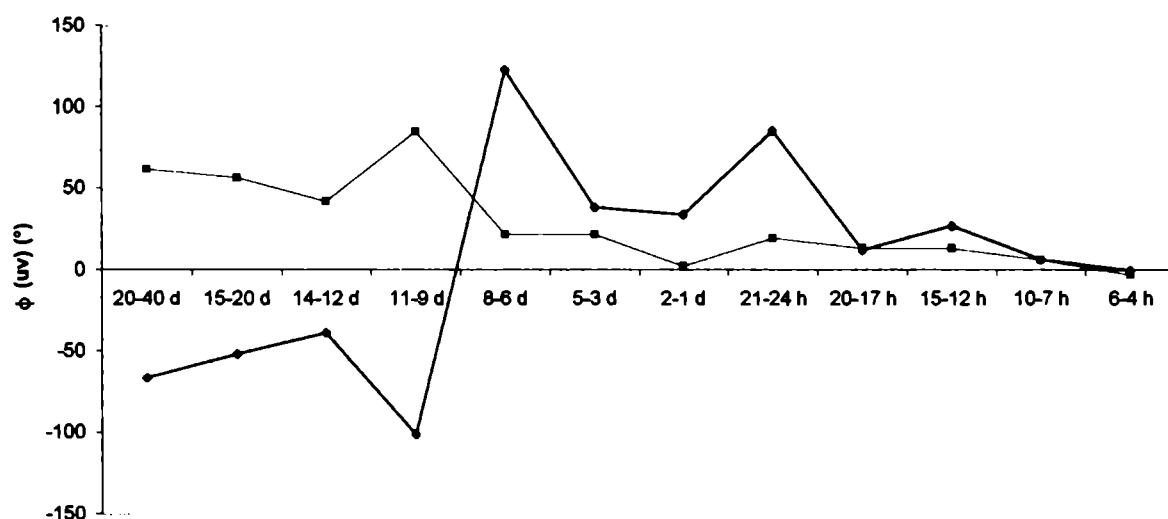


Fig. 9.52: Fase media para intervalos de período asociados a máximos espectrales de las componentes u y v de la intensidad del viento en NA en septiembre y octubre de 1988 (—◆—) y de 1989 (—■—).



Fig. 9.53: Fase media para intervalos de período asociados a máximos espectrales de las componentes u y la componente v de la intensidad del viento en CBS (—△—), C52 (—○—) y CVS (—□—) entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

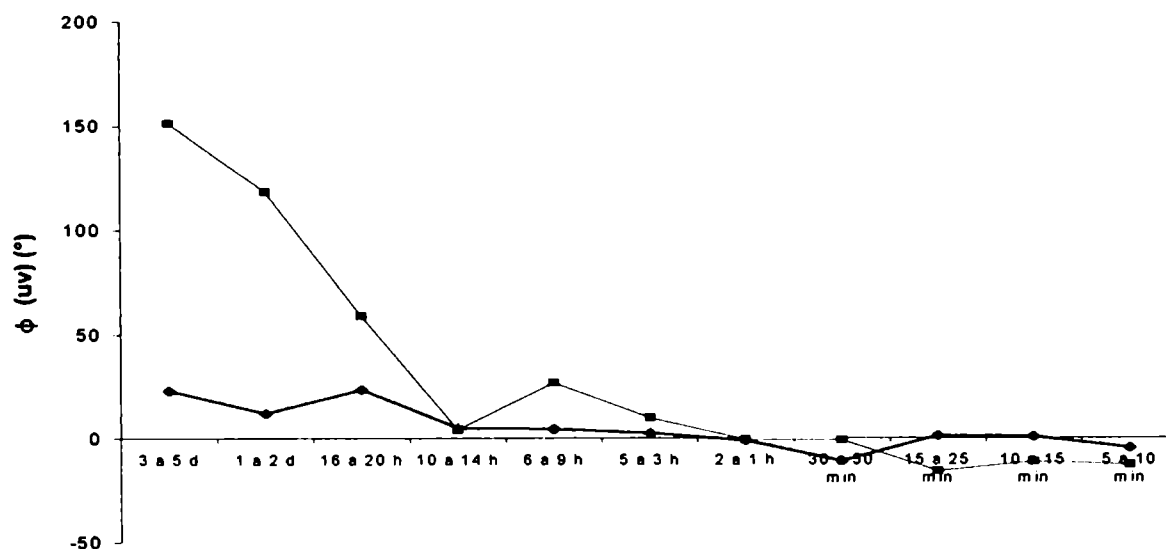


Fig. 9.54: Fase media para intervalos de periodo asociados a máximos espectrales de la componentes u y la componente v de la intensidad del viento en CLF (—x—) entre el 13 y el 17 de octubre de 1993 y en C52 (—■—) entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993.

RESUMEN

El análisis de los espectros cruzados de las componentes u y v de la intensidad del viento en estaciones meteorológicas de la región de los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro presenta las siguientes características:

Los estimadores de $\overline{u'v'}$ son muy fluctuantes y con continuos cambios de signo.

Los coespectros normalizados de la componente u y v de la intensidad del viento en NA para septiembre y octubre de 1988 presentan máximos positivos en 21 d, 11 d, y en períodos menores, en 19 h y 14 h. Un máximo negativo importante puede apreciarse en períodos de 7 - 8 d, coincidiendo con resultados obtenidos por Hess y Clarke (1973).

Los coespectros entre u y v en el período entre el 1 y el 13 de octubre de 1994 en CBS, CVS y C52 presentan un comportamiento dispar en bajas períodos y en períodos entre 2 d y 18 h. Los máximos se presentan en períodos similares en todas las estaciones.

Los coespectros de u y v en CLF y C52 presentan máximos entre 2 d y 15 h. Los máximos de alta frecuencia se manifiestan en CLF en períodos de 5 h y en C52 en períodos de 3.5 h.

Los espectros normalizados de cuadratura de las componente u y v de la intensidad del viento en NA para septiembre y octubre de 1988 y 1989, presentan máximos positivos en períodos de 21 d, y en 14 d y 9 d en los dos años. Estos máximos presentan diferentes signos según el caso analizado. En frecuencias menores se presentan principalmente máximos positivos en 7 d, 3 d, 2 d, 15 h y 11 h.

El espectro de cuadratura entre u y v entre el 1 y el 13 de octubre de 1994 en CBS, CVS y C52 presenta máximos positivos para períodos de 2 d y en el caso del máximo asociado al ciclo diurno, sus valores son positivos en CBS y C52 y negativo en CVS.

El espectro de cuadratura de u y v en CLF y C52 a partir de datos obtenidos cada minuto en periodos no simultáneos presentan máximos en periodos de 5 h. El máximo más pronunciado se presenta en periodos entre 13 y 15 h en C52 .

La coherencia presenta máximos insinuados entre 12 y 14 d y entre 20 y 24 h poniendo de manifiesto la onda diaria en ambos años. El valor medio de la correlación es 0.5, presentando una leve disminución hacia periodos más altos

En todas las series analizadas se presenta un desfase positivo en los periodos más bajos, indicando que las fluctuaciones en u se presentan con anterioridad a las fluctuaciones en v .

10. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA TEMPERATURA DEL AIRE Y LAS COMPONENTES DE LA INTENSIDAD DEL VIENTO

10.1 Generalidades

La desviación estándar de las componentes del viento puede ser relacionada con distintos parámetros meteorológicos.

Los valores de desviación estándar de la componente u de la intensidad del viento son utilizados en diseños de ingeniería del viento durante episodios de vientos intensos.

Definiendo la componente u del viento paralela al viento medio el valor medio $\bar{v} = 0$ y $v' = v$ donde v' es la desviación con respecto al valor medio (fluctuaciones).

Las desviaciones estándares (σ^2) de las componentes horizontales de la intensidad del viento son definidas (Panofsky y Dutton 1984) como:

$$\begin{aligned}\sigma_u^2 &= \overline{(u - \bar{u})^2} \\ \sigma_v^2 &= \overline{v^2} - (V \sigma_u)^2\end{aligned}\tag{10.1}$$

La descripción de las fluctuaciones de la dirección del viento constituyen un dato útil en los problemas de difusión de contaminantes que son especialmente serios bajo condiciones de viento débil (Haugen, 1959).

En los casos en que se combinan los efectos de la turbulencia mecánica y la convección, se incrementan los fenómenos con variaciones en baja frecuencia.

La desviación estándar de la componente v del viento es generalmente menor al 20% de la intensidad del viento (V) (Panofsky y Dutton, 1984).

En general, las aplicaciones de la información de las fluctuaciones de algunas variables atmosféricas depende de sus características. La dispersión atmosférica de los contaminantes emitidos desde fuentes continuas es gobernada por la intensidad de las fluctuaciones de las componentes vertical y horizontal del viento y algunos daños en las construcciones dependen de la intensidad del viento medio y de la intensidad de las fluctuaciones de sus componentes.

La desviación estándar de las componentes de la velocidad del viento sobre terreno uniforme no varía con la altura en la capa de superficie, ni siquiera en condiciones inestables, pero dependen fuertemente de la estratificación de la temperatura. El efecto de la convección sumado a la turbulencia mecánica influye sobre las fluctuaciones atmosféricas de baja frecuencia.

La desviación estándar de las fluctuaciones horizontales es producida principalmente por los torbellinos cuasi horizontales, con diámetros mayores a algunos cientos de metros. Esos torbellinos tienen mucha memoria, por lo que sufren pocas modificaciones por cambios en el terreno. Los torbellinos grandes guardan la información de las condiciones corriente arriba y producen grandes desviaciones estándares comparadas con las tensiones en la superficie. Situaciones opuestas ocurren en terreno rugoso corriente abajo de un terreno suave. En ese caso,

las tensiones provocadas por la superficie son grandes comparadas con las tensiones corriente arriba y las fluctuaciones horizontales reflejan las condiciones de menos tensión y energía (Sorbjan, 1989).

Kristensen y Panofsky (1976) relacionaron las fluctuaciones de la dirección del viento a 100 m con el viento a 11 m y la diferencia de temperaturas entre 2 m y 11 m. En casos de vientos intensos (turbulencia mecánica), las fluctuaciones fueron mayores a 3.5° y su comportamiento fue independiente de la temperatura. En los casos de vientos más leves, la desviación estándar se incrementó con la inestabilidad. En atmósferas con vientos muy leves y muy estable, la desviación estándar se incrementó y su comportamiento fue altamente variable.

La Figura 10.1 presenta las fluctuaciones medias de la dirección del viento calculadas a partir de los cambios en la dirección cada 2 h, en la estación meteorológica NA durante los meses de septiembre y octubre de 1988 y 1989. Los ángulos obtenidos están comprendidos entre 20° y -20° . No se presenta un ciclo diurno predominante. Se observan variaciones de signo cada 4 o 6 h.

La Figura 10.2 presenta las fluctuaciones medias de la dirección del viento en CB, CVS y C52 entre el 1 y el 13 de octubre de 1994. CVS presenta un comportamiento similar al encontrado en NA en septiembre y octubre de 1988 y 1989. No se aprecia la presencia de un ciclo diurno definido y los ángulos son entre -10 y 20° . En general, en CVS se presentó poca fluctuación a excepción de máximos que ocurrieron cada 5 h, C52 presenta características similares a las encontradas en los valores del año 1993 (Figura 10.3).

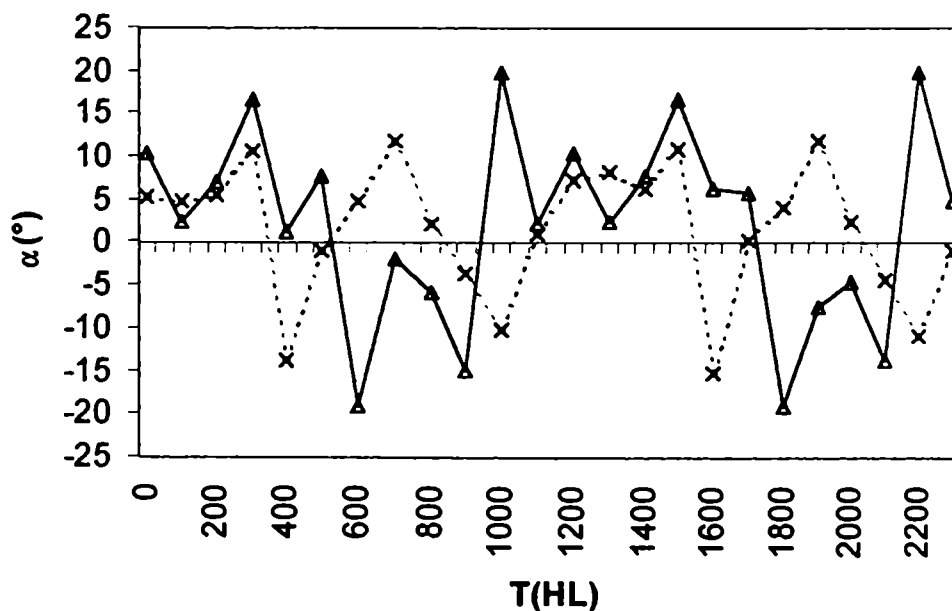


Fig. 10.1: Fluctuaciones medias $\alpha(^{\circ})$ de la dirección del viento cada 2 h en la estación NA en el periodo septiembre y octubre de 1988 (— Δ —) y 1989 (... \times ...). HL es la hora local.

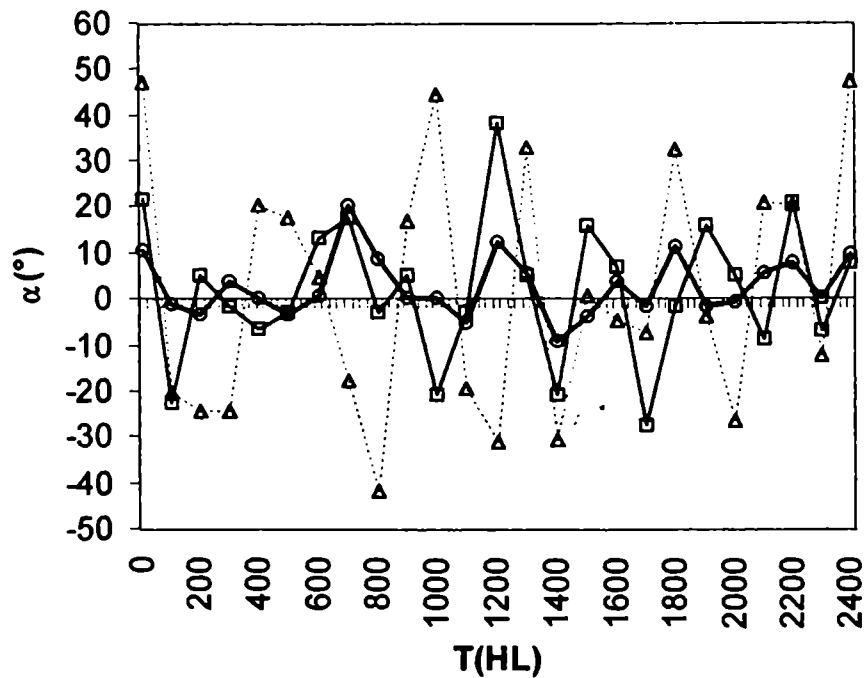


Fig.10.2: ídem Figura 10.1 en las estaciones CVS (—○—), CB (—□—) y C52 (...△...) en el periodo comprendido entre el 1 y el 13 de octubre de 1994. HL es la hora local.

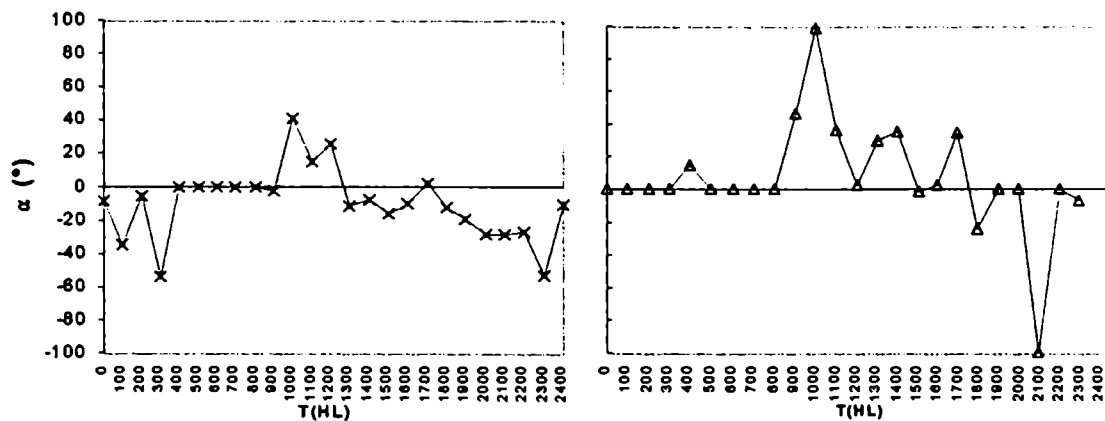


Fig. 10.3: ídem Figura 10.1 para las estaciones meteorológicas CLF (—×—) y C52 (—△—) en los periodos 12 - 17 de octubre de 1993 y 1 - 5 de septiembre de 1993 respectivamente. HL: es la hora local.

La Figura 10.3 muestra un análisis similar para las fluctuaciones medias horarias de la dirección del viento en CLF en el periodo entre el 12 y el 17 de octubre de 1993 y en C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993. Debido a las características de selección de los datos (ver Capítulos 2 a 4) la frecuencia media de calmas en los periodos mencionados fue alrededor del

50%, por lo que estos resultados tienen características descriptivas (ver Tabla 8.i).

En ambas estaciones, en ambos periodos se puede observar la presencia de un ciclo diurno, especialmente en C52, donde la rotación de la dirección del viento podría asociarse al efecto térmico. La presencia de drenaje catabático ya insinuado en el análisis del Capítulo 6 podría ser posible, aunque la altura de 3 m a la que fueron realizadas las observaciones de viento en C52 es mucho mayor que la descrita en la literatura para este tipo de circulación (Doran y Horst, 1983).

10.2 DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA TEMPERATURA DEL AIRE

En la Figura 10.4 (a) se presenta la marcha diaria de la desviación estándar media de la temperatura del aire en NA, CS, AV y VR correspondiente a septiembre y octubre de 1988 y 1989. Se observan dos máximos en las horas del amanecer y el anochecer y valores menores aproximadamente a las 16:00 h y en la noche (entre 23:00 h y 05:00 h).

La Figura 10.4 (b) presenta la marcha diaria de la desviación estándar en CVS, C52 y CB (CBI - CBS) entre el 1 y el 13 de octubre de 1994. En general, la desviación estándar presenta mayores valores en el periodo diurno y valores máximos a las 9:00 y 19:00 h y aumenta levemente a las 15:00 h. En CB sobre la meseta, donde las condiciones del terreno son áridas, los mayores valores de la desviación estándar se presentan en el nivel inferior (CBI). Los máximos ocurren en horarios similares al resto de las estaciones y se detecta además un máximo pronunciado a las 14 h coincidiendo con el periodo de mayor calentamiento. CBS, ubicado a 15 m de altura presenta las menores desviaciones estándares en todas las horas y el máximo de la tarde está retrasado una hora. Existe mayor turbulencia mecánica y mayor turbulencia térmica. En CVS se nota un aumento de la desviación estándar a las 04:00 h. Este máximo podría deberse a la presencia de ondas de gravedad que se inician a la madrugada y que fueron detectadas anteriormente por Lässig (1995) (ver sección 6.3.1).

La Figura 10.4 c) representa un gráfico similar para C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993 y para CLF entre el 13 y el 17 de octubre de 1993. Debe tenerse en cuenta que los periodos de tiempo son diferentes por lo que las situaciones de escala regional también los son, pero las características meteorológicas nocturnas (vientos débiles y cielo parcialmente despejado) son similares (ver Capítulo 7), ya que los periodos de medición se eligieron teniendo en cuenta esta característica.

La Figura 10.5 presenta la frecuencias relativas porcentuales de la desviación estándar de la temperatura en función de la dirección del viento en CVS, C52, CBI y CBS. En CVS y CBI los máximos están bien diferenciados en dos direcciones, mientras que en C52 se presentan casos en direcciones intermedias.

La Figura 10.6 presenta las frecuencias relativas porcentuales de la desviación estándar de la temperatura en función de la dirección del viento en la estación NA, septiembre y octubre de 1988 y 1989. Los mayores porcentajes se presentan en la dirección W. También, se presentan máximos relativos en las direcciones E, SSE y N. Debe recordarse que las direcciones E - W es paralela y SSE - N es transversal a la dirección del valle en NA.

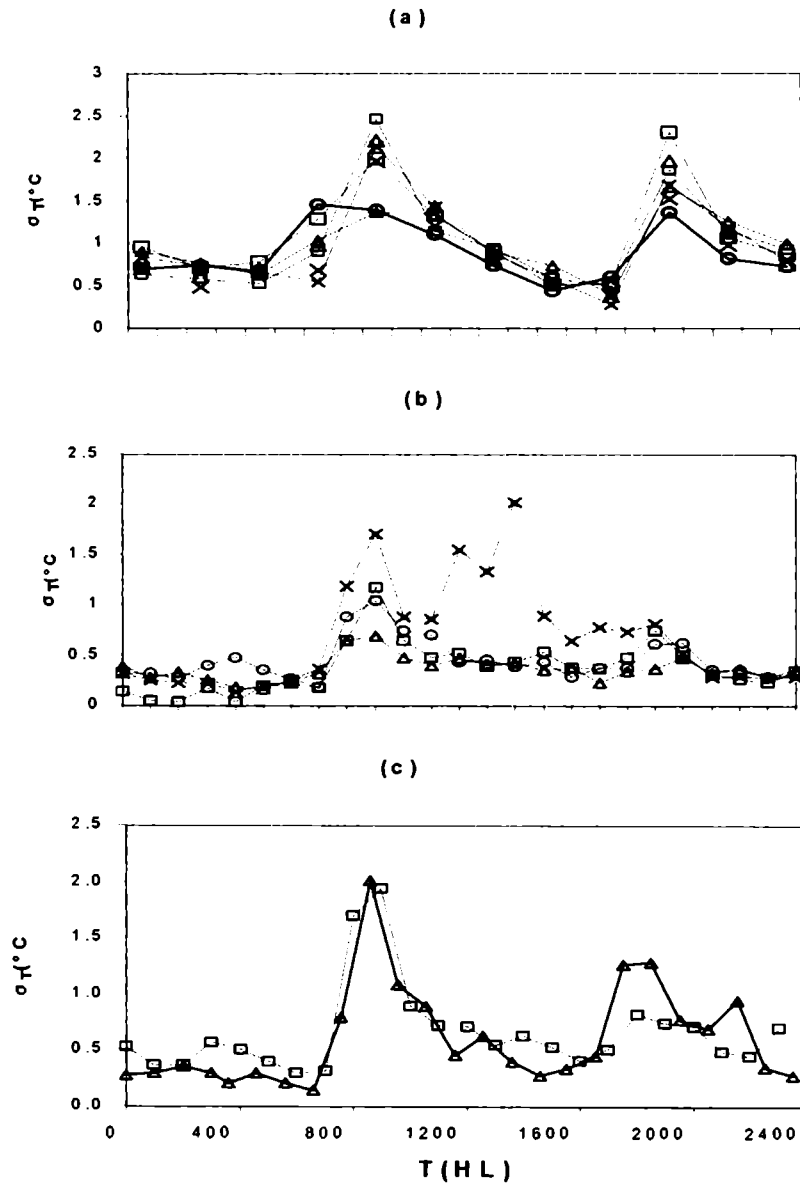


Fig. 10.4: Desviación estándar de la temperatura horaria del aire durante septiembre y octubre de 1988 y 1989, en NA (—○—), CS (—△—) AV (—□—) y VR (—×—), Figura (a); entre el 1 y el 13 de octubre de 1994 cada 1 h en, CVS (—○—), C52 (—□—), CBI (—×—) y CBS (—△—), Figura (b); y del 1 al 5 de septiembre de 1993 en C52 (—□—) y del 13 al 17 de octubre en CLF (—△—) Figura (c).

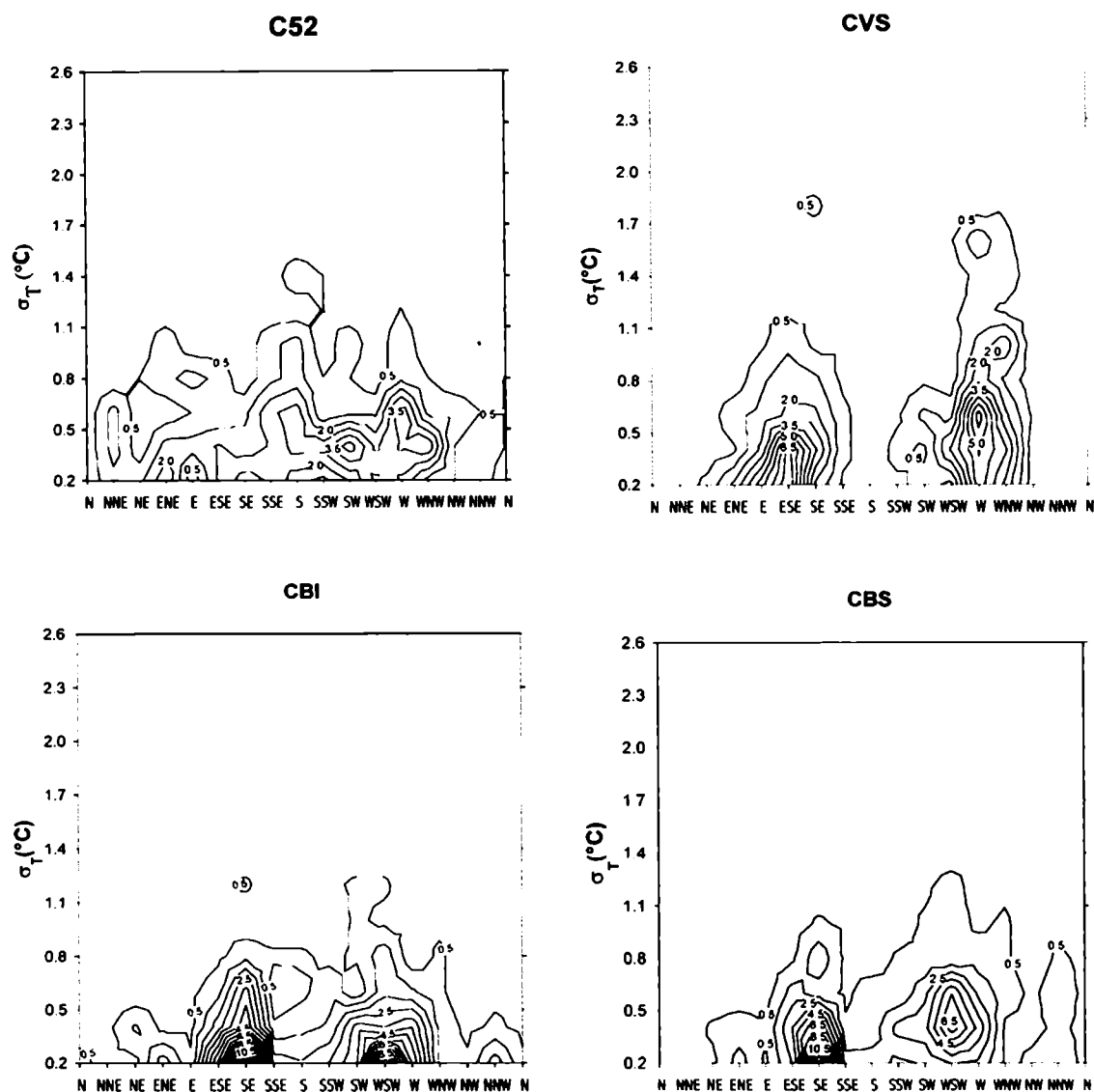


Fig. 10.5: Frecuencias relativas porcentuales de las desviación estándar de la temperatura del aire en función de la dirección del viento en las estaciones C52, CVS y CB entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

En CVS las mayores fluctuaciones de la temperatura se dan en las direcciones ESE y entre W y WNW, que son aproximadamente paralelas a la dirección del valle. En CBI los máximos se presentan en las direcciones W y ESE. La dirección W coincide con la dirección de los vientos predominantes y la dirección ESE coincide con el eje del valle del río Negro.

CBS presenta máximos bien marcados de la desviación estándar de la temperatura del aire cuando la dirección del viento es del SE y del SSW, la dirección SE es paralela al eje del valle y la dirección SSW es transversal a ella, de igual manera los máximos relativos del NNW y ENE presentan una relación similar.

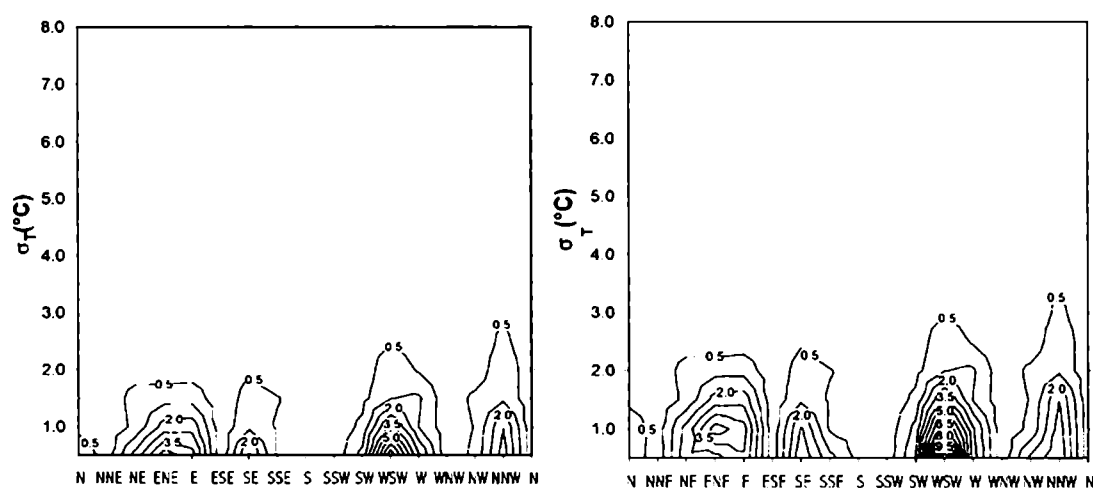


Fig. 10.6: Frecuencias relativas porcentuales de la desviación estándar de la temperatura en función de la dirección del viento en la estación NA, septiembre y octubre de 1988 (izquierda) y 1989 (derecha).

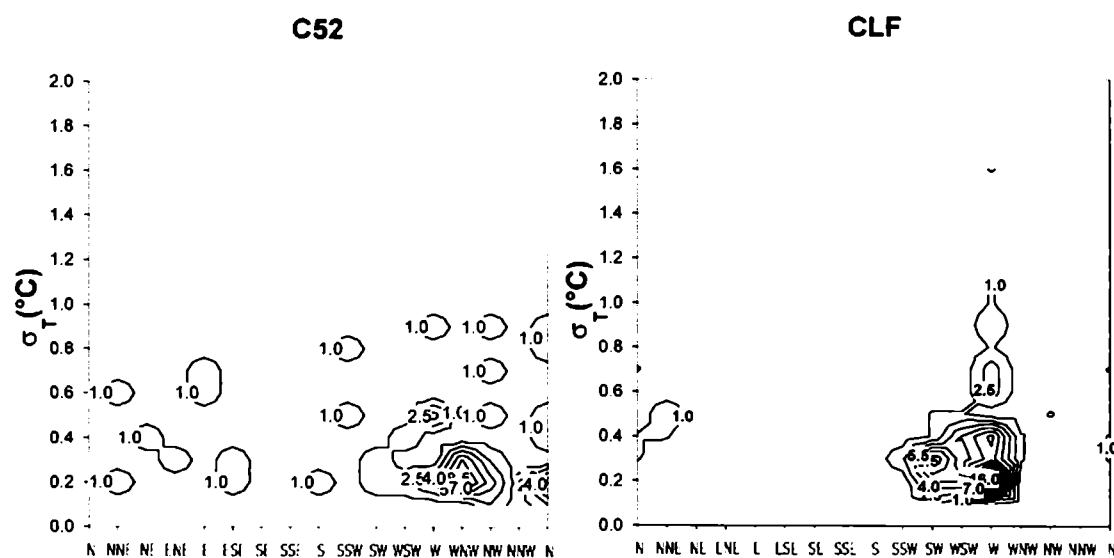


Fig. 10.7: Frecuencias relativas porcentuales de la desviación estándar de la temperatura en función de la dirección del viento en las estaciones CLF entre el 13 y el 17 de octubre y C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993.

La Figura 10.7 incluye un análisis similar para CLF entre el 13 y el 17 de octubre y para C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993. En esas situaciones los máximos de desviación estándar de la temperatura se presentan en las direcciones W en CLF (transversal al valle) y WNW (paralela al valle) en C52.

De los análisis de las figuras anteriores se encuentra que los resultados indicarían que

la desviación estándar de la temperatura es mayor cuando el aire fluye en las direcciones longitudinales de los valles o en direcciones transversales a ellos.

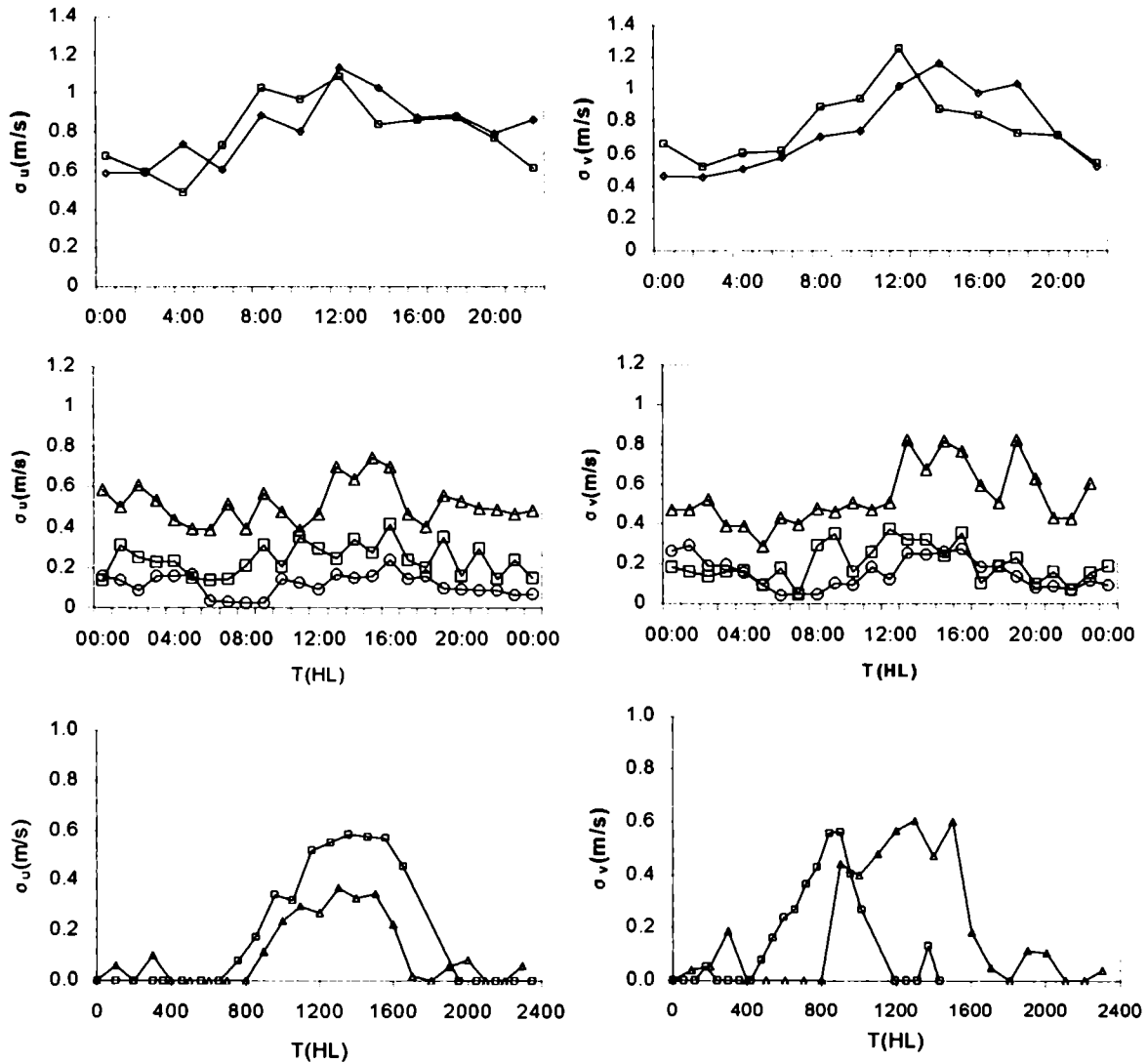


Fig. 10.8: Desviación estándar de las componentes u (izquierda) y v del viento (derecha) durante septiembre y octubre de 1988 (\square) y 1989 (\diamond), cada 6 h, en NA, Figuras superiores; entre el 1 y el 13 de octubre de 1994 cada 1 h en, CVS (\circ), C52 (\square) y CBS (\triangle), Figuras centrales; y del 1 al 5 de septiembre de 1993 en C52 (\square) y del 13 al 17 de octubre en CLF (\triangle) Figuras inferiores.

10.3 DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL VIENTO

Las variaciones en las fluctuaciones del viento pueden atribuirse a la turbulencia atmosférica o a la presencia de ondas de gravedad. Las ondas de gravedad pueden existir sólo

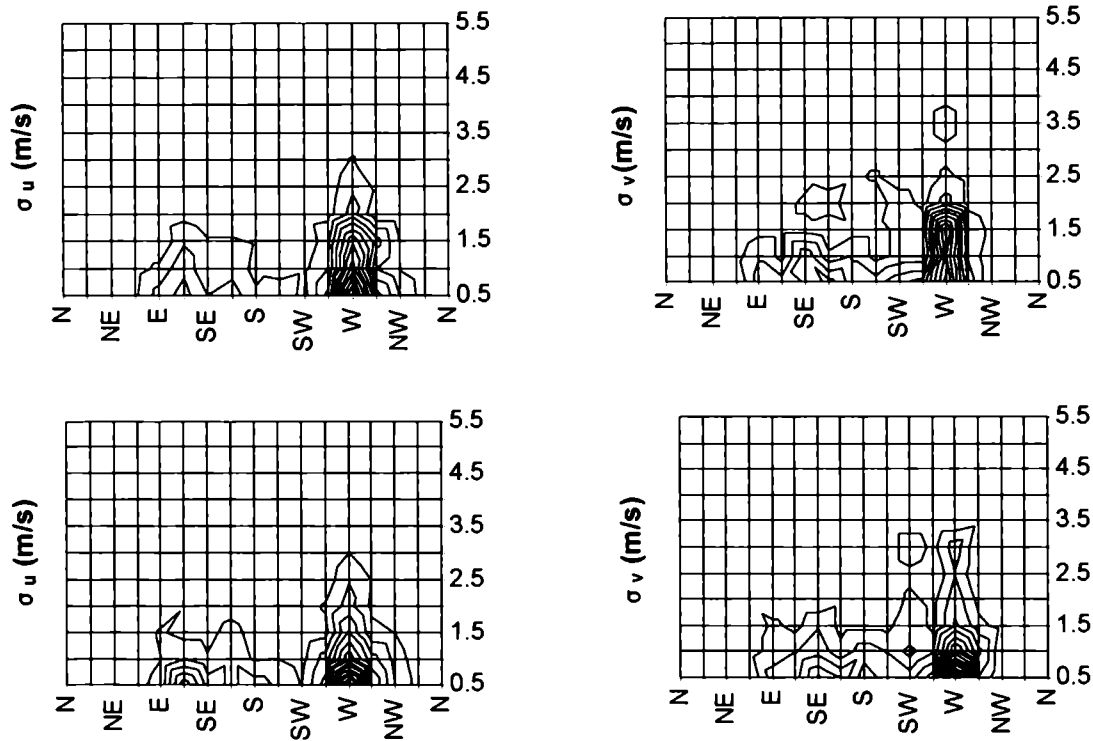


Fig. 10.9: Frecuencias relativas porcentuales de la desviación estándar de las componentes u (σ_u (m/s)) y v (σ_v (m/s)) del viento en función de la dirección en la estación NA, septiembre y octubre de 1988 y 1989. Las líneas corresponden a porcentajes entre 1 y 14% trazadas cada 2 %.

cuando la atmósfera está estratificada, por lo que el fluido que es desplazado verticalmente sufrirá oscilaciones debidas al empuje. La excitación de estas ondas es causada por una amplia variedad de fenómenos, como cortante de viento, actividad de tormentas y pasajes frontales (Stull, 1976).

Las ondas de montaña son también una manifestación del fenómeno de ondas de gravedad. Leahey y otros (1996) estudiaron la influencia de las ondas de gravedad sobre las fluctuaciones del viento obtenido a 10 m de altura en Alberta, (Canadá) ubicada 100 km al Este de las montañas Rocallosas especialmente bajo condiciones de viento del W. Los autores encontraron influencias de las ondas de gravedad sobre las fluctuaciones del viento que ocurrían en condiciones de viento del W, especialmente bajo condiciones atmosféricas inestables. La mezcla de la atmósfera de origen térmico asociada con condiciones inestables produciría que las ondas intercambiaran cantidad de movimiento hacia la superficie. La presencia de la cordillera de los Andes 350 km al W de la zona de estudio podría influenciar las fluctuaciones del viento en condiciones de viento del W.

10.3.1 Desviación estándar de las componentes u y v de la intensidad del viento:

La desviación estándar de la componente u de la intensidad de viento (Figura 10.8),

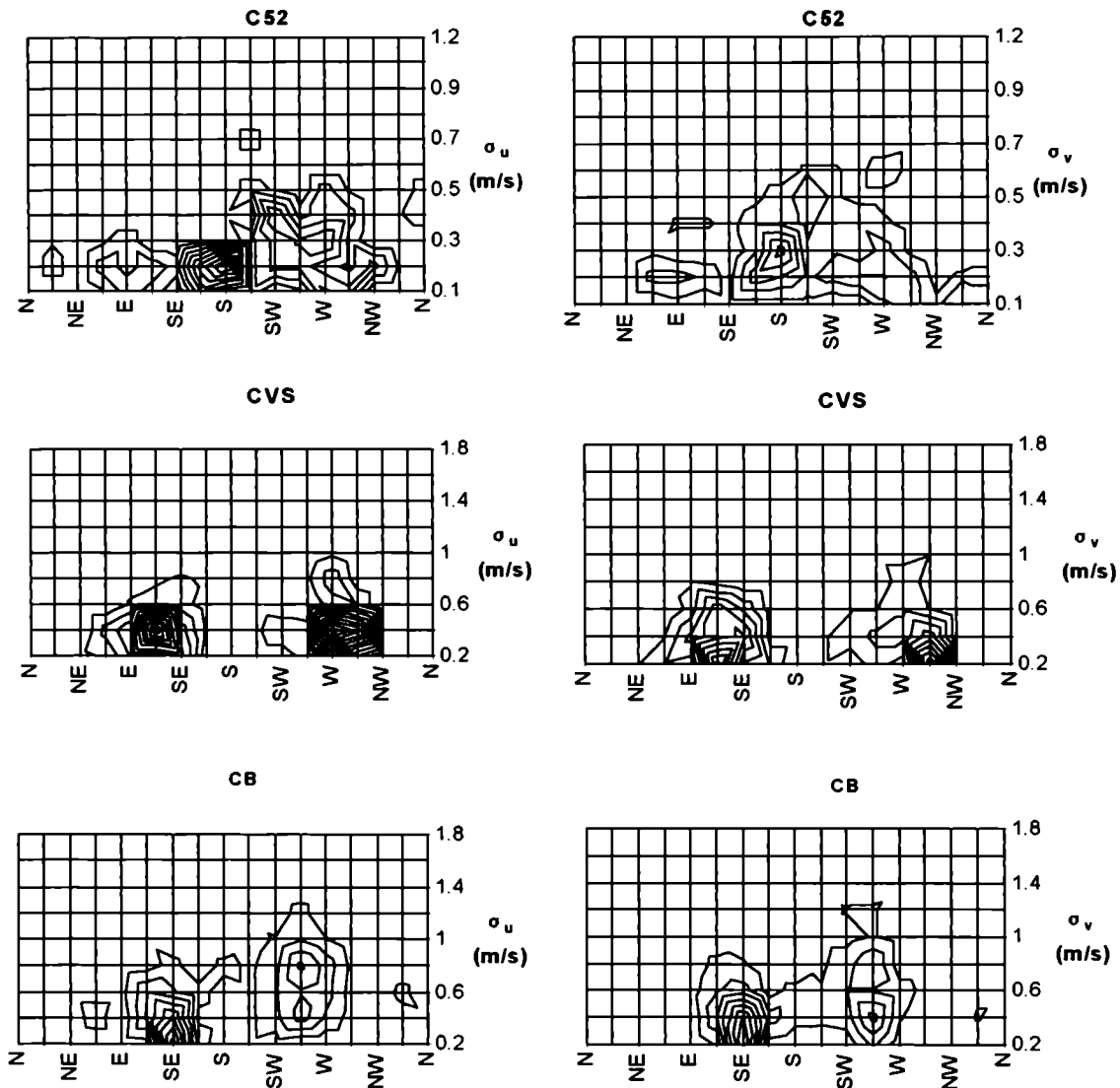


Fig. 10.10: idem Figura 10.9 en las estaciones C52, CVS y CB entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

presenta variaciones abruptas durante el día. Se observa un aumento de los valores a la madrugada (02:00 a 05:00 h) y un nuevo aumento entre las 11:00 y las 18:00 h coincidiendo con la hora del mayor calentamiento. Los valores son más altos en CB sobre la barda y menores en C52 en el interior del valle, probablemente asociado con la mayor intensidad de viento (ver Capítulo 4) en CB.

La desviación estándar de la componente v del viento (ver Figura 10.8) no siempre presenta los mayores valores en horarios similares a los que presentan mayor desviación de u. Los máximos en los valores de la desviación estándar a la madrugada son mas marcados en C52, pero el máximo se detecta en las tres estaciones. En CVS los mayores valores de desviación estándar se presentan entre las 09:00 y las 17:00 h, mientras que en C52 se presentan entre 13:00

y 19:00 h. En CB los valores altos se mantienen entre las 13:00 y 20:00 h.

La Figura 10.9 presenta las frecuencias relativas porcentuales de la desviación estándar de las componentes u y v en NA con las direcciones del viento. Los valores de la desviación estándar se asocian a direcciones centradas en el ESE y W. Los mayores valores de la desviación estándar se encuentran asociados a la dirección W.

Los datos obtenidos en NA a diferencia de las otras estaciones analizadas son a 10 m de altura y en la dirección W se presenta un máximo de ocurrencia de las desviaciones estándar de las componentes u y v que podrían asociarse a ondas de gravedad generadas por la topografía.

La Figura 10.10 presenta las frecuencias relativas porcentuales de desviación estándar de las componentes u (σ_u (m/s)) y v (σ_v (m/s)) de la velocidad del viento en función de la dirección del viento entre los días 1 y 13 de octubre de 1994 en las estaciones C52, CVS y CB. En las tres estaciones las direcciones asociadas a los valores de desviación estándar son similares para las dos componentes de la velocidad del viento.

En CVS los máximos se presentan en la dirección alineada con el eje del valle (ESE-WNW) en la componente v y en la dirección (ESE-W) en la componente u . En C52 se presenta

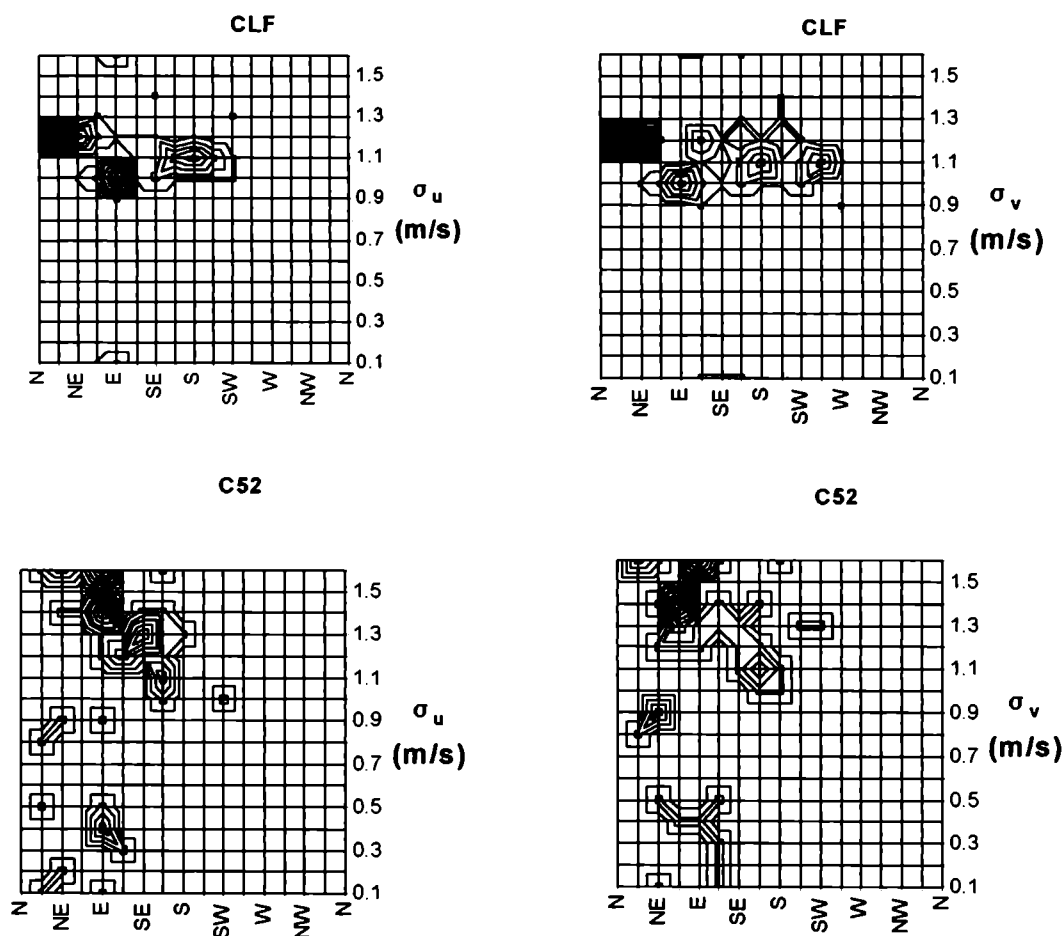


Fig. 10.11: ídem Figura 10.9 en las estaciones C52, entre el 1 y el 5 de septiembre las líneas y CLF entre el 13 y el 17 de octubre de 1993. Las líneas presentan valores entre 1 y 40 % en CLF y entre 1 y 10% en C52 trazadas cada 1%.

un máximo en la dirección S, con valores de desviación estándar bajos en todas las direcciones. Debe notarse, además que las direcciones asociadas a los mayores valores de desviación estándar son del W.

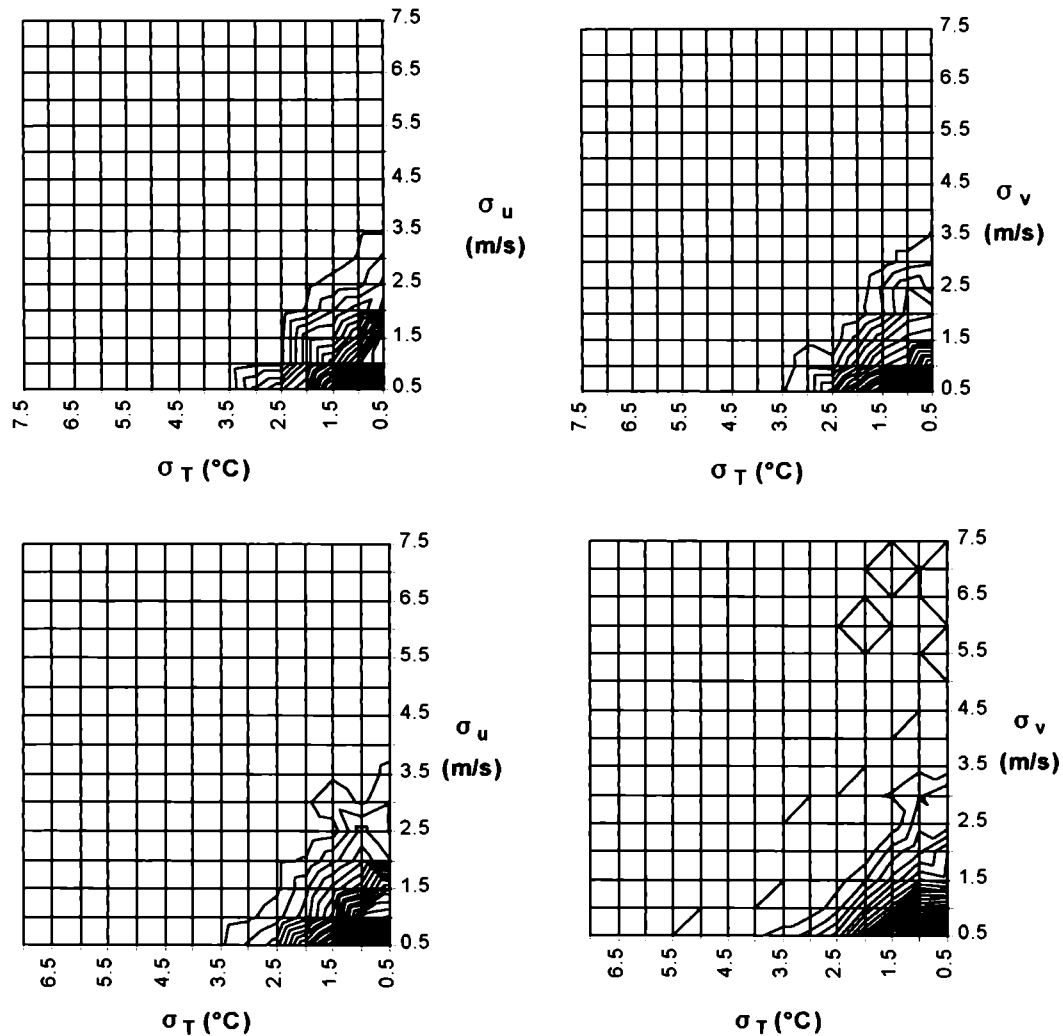


Fig. 10.12: Frecuencias relativas porcentuales de la desviación estándar de las componentes u (σ_u (m/s)) y v (σ_v (m/s)) del viento en función de la desviación estándar de la temperatura en la estación NA, septiembre y octubre de 1988 (arriba) y 1989.(abajo). Las líneas corresponden a porcentajes entre 1 y 18% para la componente u 1 a 21% para la componente v, trazadas cada 0.5 % .

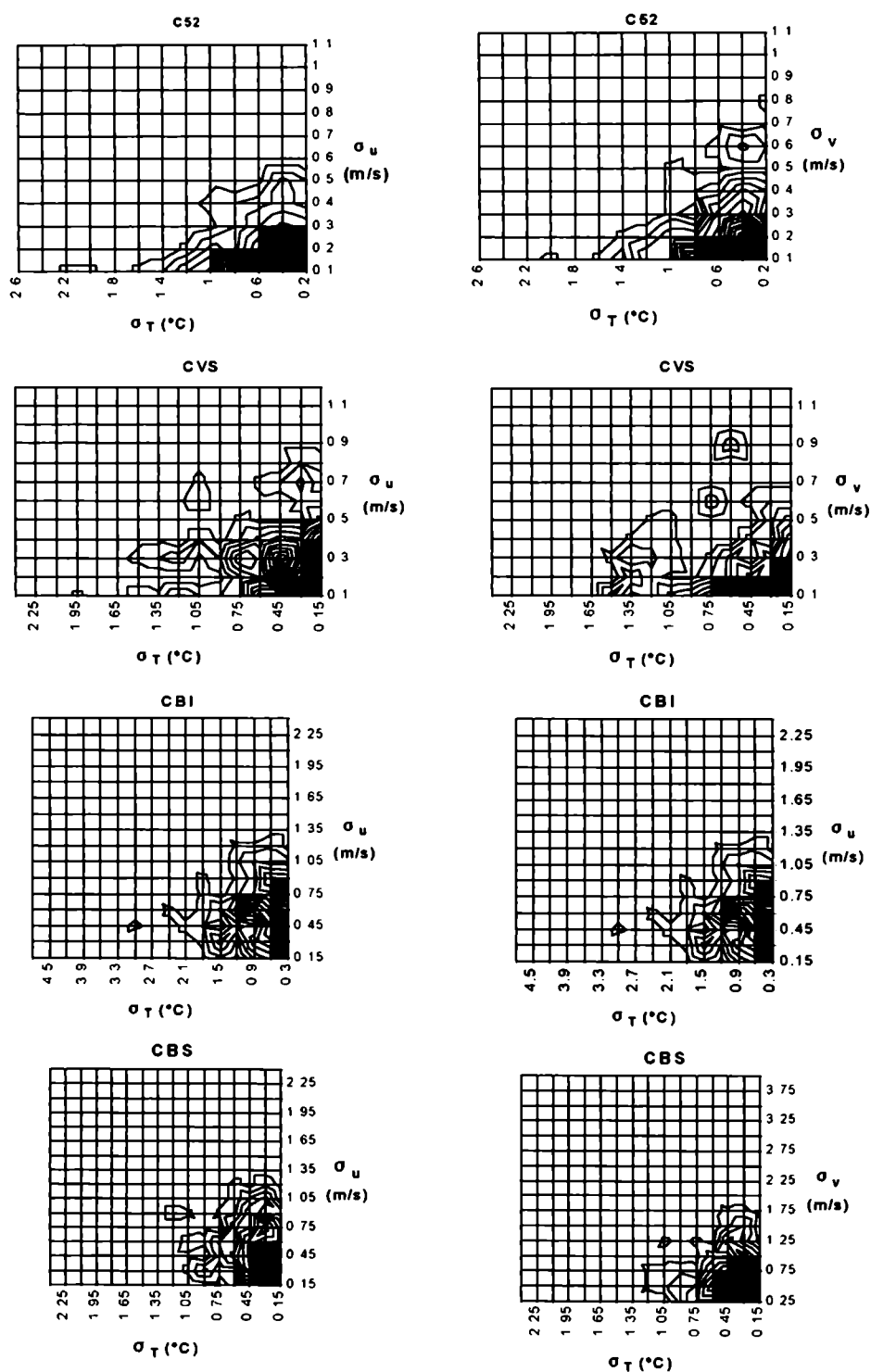


Fig. 10.13: ídem Figura 10.12 en las estaciones C52, CVS y CB entre el 1 y el 13 de octubre de 1994. Las líneas representan valores entre 1 y 26% en C52, entre 1 y 13% en CVS y CBS y entre 1 y 18% en CBI trazadas cada 0.5%.

La Figura 10.11 presenta las frecuencias relativas porcentuales de las desviaciones estándares de las componentes u y v del viento para C52 y CLF. En estos dos casos el comportamiento presenta mayores porcentajes en las direcciones NE, E y S tanto para la componente u como para v. La componente v presenta además una frecuencia máxima en la dirección SSW.

Las Figuras 10.12 a 10.14 presentan las frecuencias relativas porcentuales de la desviación estándar de las componentes del viento con la desviación estándar de la temperatura. En todos los casos se observa que el mayor porcentaje presenta una relación directa entre los menores valores de desviación estándar del viento y los menores valores de desviación estándar de la temperatura. En los mayores valores se presenta una relación inversa (mayor desviación estándar de la temperatura, asociadas con menor desviación estándar del viento y viceversa).

En NA, en septiembre y octubre de 1988 y 1989 los valores frecuencias de la desviación estándar de la temperatura del aire y de las componentes de la velocidad son similares.

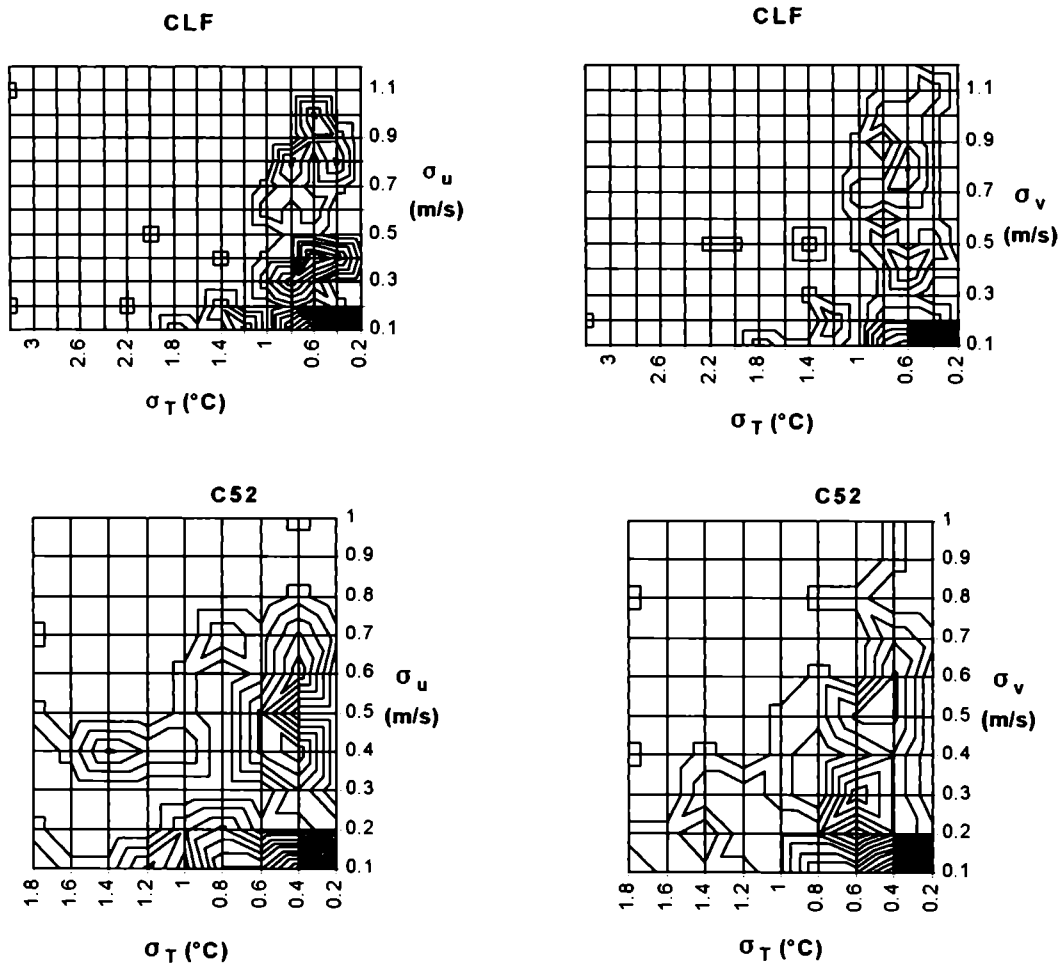


Fig. 10.14: ídem Figura 10.12 para C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993 y para CLF entre el 13 y el 17 de octubre de 1993. Las líneas están trazadas entre 1 y 20 % cada 0.8%.

RESUMEN

El análisis de las fluctuaciones de la temperatura y de las componentes u y v del viento, presenta las siguientes características

-las fluctuaciones medias horarias de la dirección del viento en NA durante los meses de septiembre y octubre de 1988 y 1989 presentan menores variaciones que en las estaciones ubicadas en la zona de chacras entre el 1 y el 13 de octubre de 1994 y no se observa un ciclo diurno predominante. Se muestran variaciones de signo cada 4 o 6 h.

-CVS entre el 1 y el 13 de octubre de 1994 presenta un comportamiento similar al encontrado en NA en septiembre y octubre de 1988 y 1989 sin la presencia de un ciclo diurno definido y con ángulos entre -10° y 20° .

-en CLF en el período entre el 12 y el 17 de octubre de 1993 y en C52 entre el 1 y el 5 de septiembre de 1993, se puede observar la presencia de un ciclo diurno, más marcado en C52, donde la rotación de la dirección del viento podría asociarse al efecto térmico. La presencia de drenaje catabático podría ser posible, aunque la altura de 3 m a la que fueron tomados los datos de viento en C52 es mucho mayor a la descripta en la literatura.

-la marcha diaria de la desviación estándar media de la temperatura del aire en NA, CS, AV y VR durante septiembre y octubre de 1988 y 1989, presenta máximos valores al amanecer y al anochecer.

-en CVS se nota un máximo de la desviación estándar a las 04:00 h, que podría deberse a la presencia de ondas de gravedad que se inician a la madrugada.

-la desviación estándar de la componente u de la intensidad de viento, presenta fluctuaciones bruscas a lo largo del día. Se observa un aumento de los valores al finalizar la noche y un nuevo aumento en las horas con un mayor calentamiento.

-la desviación estándar de la componente v del viento presenta los mayores valores. Los valores de la desviación estándar a la madrugada son mayores en C52, pero el máximo se detecta en las tres estaciones entre el 1 y el 13 de octubre de 1994.

-en CVS los máximos se presentan en la dirección alineada con el eje del valle (ESE-WNW) en la componente v y en la dirección (ESE-W) en la componente u. En C52 se presenta un máximo en la dirección S, con valores de desviación estándar bajos en todas las direcciones. Debe notarse además, que la dirección asociada a los mayores valores de la desviación estándar es del W.

-los análisis de la desviación estándar de la temperatura en función de la dirección del viento, indicarían que la desviación estándar de la temperatura es mayor cuando el flujo adquiere las direcciones de los valles o direcciones transversales a ellos.

11. ANÁLISIS DE UN PERFIL VERTICAL DEL VIENTO EN EL VALLE DEL RÍO NEUQUÉN EN CONDICIONES DE ENFRIAMIENTO RADIATIVO

11.1 INTRODUCCIÓN

Diversos autores realizaron estudios de los perfiles verticales de temperatura e intensidad del viento en terreno liso.

Oke (1970) realizó un estudio observacional de los perfiles de temperatura en la zona muy cercana a la superficie en noches con cielo despejado y viento en calma, encontrando que en las condiciones mencionadas la temperatura mínima ocurre en los primeros 50 cm sobre la superficie. La altura y la intensidad del mínimo estaría fuertemente relacionada con la velocidad del viento, la rugosidad de la superficie y la estabilidad de la atmósfera. El autor sugiere que la explicación de dicho fenómeno involucra a la turbulencia y a la divergencia de flujo cerca de superficie.

Petersen y Taylor (1973) analizaron los perfiles de velocidad de viento obtenidos en Risø (Dinamarca) por medio de sensores instalados en una torre de 125 m. Se compararon los resultados con los cálculos provenientes de modelos basados en la teoría de la longitud de mezcla y la ecuación de energía turbulenta. El modelo basado en la ecuación de energía turbulenta dio resultados menos precisos que el modelo de la longitud de mezcla. Si bien los resultados obtenidos aproximaron los perfiles bastante bien, algunas características no fueron explicadas.

Peterson (1975) estudió los datos de viento y temperatura obtenidos con instrumentos instalados en una torre en Risø (Dinamarca). Propone, que los perfiles cercanos a la neutralidad sean seleccionados, no ya utilizando el número de Richardson, entre dos niveles, sino un número de Richardson calculado con los perfiles funcionales de temperatura y una velocidad de viento representativa.

Hicks (1976) utilizó los datos de perfiles de viento del experimento Wangara (Australia) y estudió las características de los perfiles de viento en diferentes condiciones de estabilidad atmosférica. En condiciones inestables, los datos fueron bien ajustados por el modelo KEYPS propuesto por Panofsky o por la relación adimensional presentada por Businger (1966). En condiciones estables, la relación dio una descripción adecuada del perfil del viento. En condiciones muy estables, se sugiere un perfil lineal.

Peterson y otros (1976) realizaron observaciones y análisis del perfil del viento sobre terreno no uniforme, en los primeros 12 m sobre la superficie. La variación en la elevación del terreno alrededor del punto de medición tendría un efecto importante, mayor que el efecto debido a la variación de la rugosidad.

Wood (1978) efectuó cálculos del perfil neutral del viento, siguiendo un cambio pronunciado en forma de *escalón* en la rugosidad de la superficie. Los modelos utilizados fueron comparados con mediciones efectuadas por Bradley. El primer método, asumía que en la región de ajuste existe equilibrio local en todo punto (Panofsky y Towsend, 1964), el segundo

corresponde a Bradshaw y otros (1967) para resolver el problema y el tercer método es similar pero la escala de longitud es reemplazada por una ecuación de transporte (Bradshaw y Unsworth, 1976). El autor mostró, que el hecho de permitirle efectos no locales en la escala de longitud de mezcla, no agregó mejoras con respecto a los resultados del segundo método.

11.2 EXPERIMENTOS DE MEDICIÓN DE VARIABLES EN LA CAPA DE LA ATMÓSFERA CERCANA AL SUELO

Como se mencionó anteriormente (ver Capítulo 2), las heladas tardías (que ocurren en los meses de septiembre y octubre) constituyen riesgos importantes para la actividad frutícola en la región Comahue. La protección contra las heladas es una preocupación constante de los agricultores que se dedican a cultivos hortícolas, florales y frutales, y en particular a aquellos cultivos que producen cosechas de alto valor económico.

En el valle del río Neuquén se realizó durante la temporada de heladas tardías del año 1993 la experiencia de campo MECIN (Mediciones de la Capa de Inversión Nocturna). En esta experiencia (Flores y otros, 1994a) se realizaron sondeos atmosféricos midiendo variables meteorológicas a diferentes alturas con globos cautivos utilizando equipos radiosondas, en noches seleccionadas de manera que hubieran condiciones propicias para la ocurrencia de heladas (calma y cielo despejado). El experimento tuvo como objetivo obtener las variaciones espaciales y temporales de la temperatura del aire y el viento en el interior del valle del Río Neuquén (ver Figura 11.2).

Escobar y otros (1996a) a partir de un análisis utilizando componentes principales

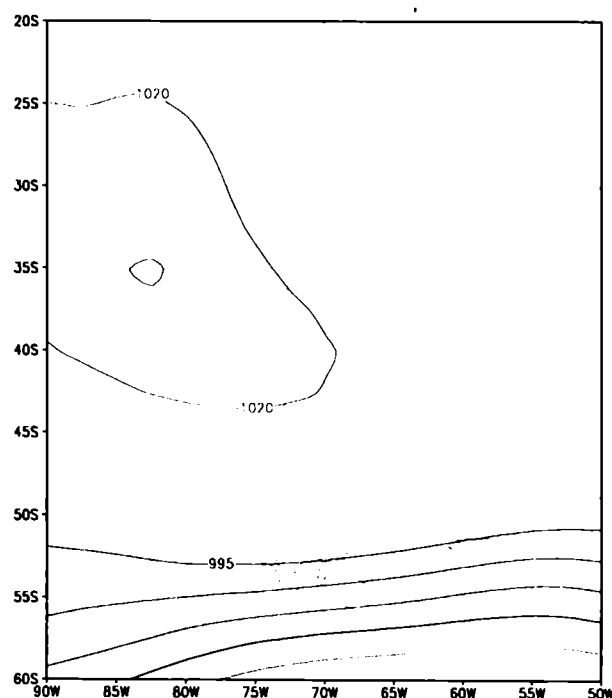


Fig. 11.1: Campo medio de presión en 1000 hPa el 12/10/93. (NCEP/NCAR Reanalysis).

determinaron que el 63.3 % de la varianza de las situaciones definidas por configuraciones de 1000 hPa que presentan heladas, corresponden a anticiclones postfrontales con ejes en 30°S o en 45°S.

Las mediciones en la capa de superficie se realizaron la noche del 12/10/93 debido a que la situación sinóptica pronosticada se incluía entre esas situaciones.

El campo medio de presión en superficie del 12/10/93 (NCAR Reanalysis) se presenta en la Figura 11.1.

Las observaciones de superficie indican además que en CLF se mantuvieron las condiciones de calma durante toda la noche (ver Figura 11.3).

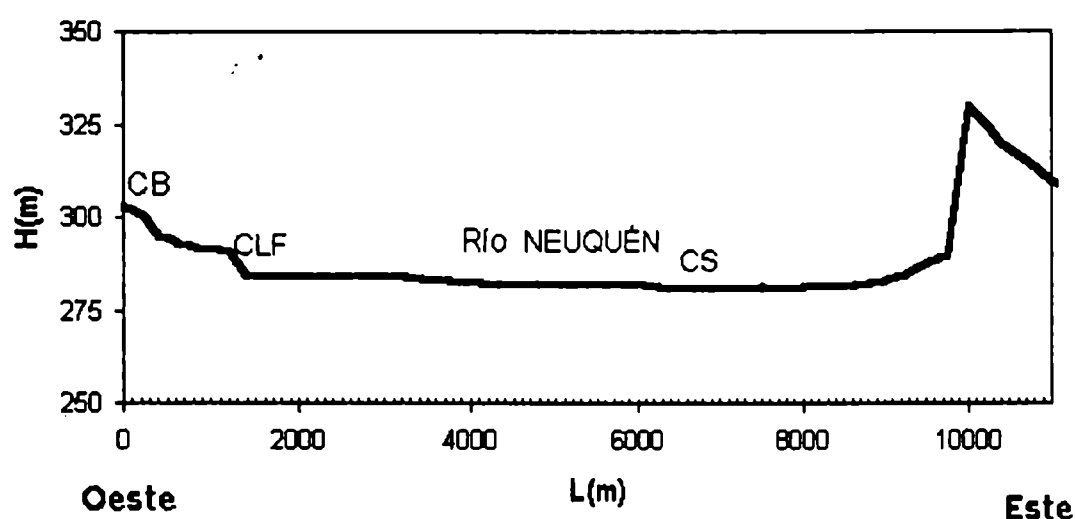


Fig. 11.2: Perfil topográfico cortando el valle del río Neuquén en 39° S, L(m) es la distancia desde el borde oeste y H(m) es la altura sobre el nivel del mar.

11.3 INFORMACIÓN OBTENIDA EN EL EXPERIMENTO MECIN

En el transcurso de la experiencia se reunió información durante 4 días del mes de octubre de 1993 en la que se instalaron estaciones meteorológicas automáticas en dos lugares, transversales al valle del río Neuquén (ver Figura 11.2), que midieron la temperatura del aire y la velocidad y dirección del viento a intervalos de 1 minuto (Flores y otros 1993 a).

Las estaciones meteorológicas fueron ubicadas en CLF (zona de chacras) y en CB (barda) (ver Capítulo 4). La diferencia de alturas entre la zona de ubicación de CLF y CB fue entre 30 y 40 m. En Cinco Saltos (CS) se instaló una estación con un globo cautivo que midió la temperatura del aire y la velocidad del viento a diferentes alturas durante el periodo nocturno.

11.4 ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE Y DEL VIENTO CERCA DEL SUELO.

En la Figura 11.3, se presenta la variación nocturna de la temperatura del aire y de la velocidad del viento medidas a 3 m de altura correspondiente a la noche del 12 de octubre en CLF. Los valores de la temperatura presentan un descenso sostenido hasta aproximadamente las 05:00 h. La disminución nocturna de la temperatura se produjo a una velocidad de $0.67\text{ }^{\circ}\text{C/h}$.

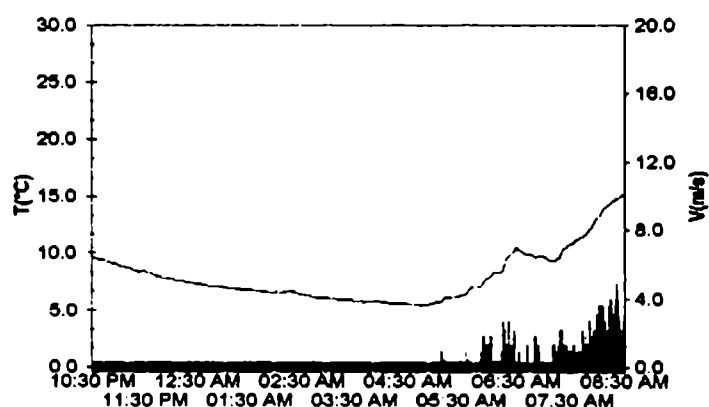


Fig. 11.3: Temperatura del aire (línea) y velocidad del viento (barras) a 3 m de altura en CLF durante la noche del 12/10/93.

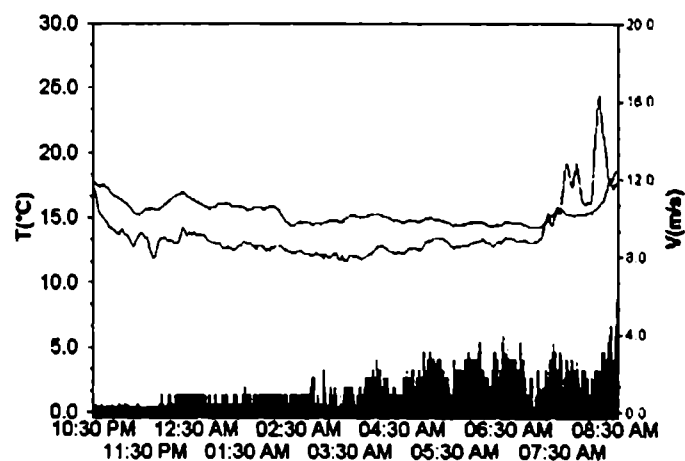


Fig. 11.4: Temperatura del aire a 3 m de altura (línea inferior) y a 15 m (línea superior) sobre la superficie. Velocidad del viento (barras) a 15 m durante la noche del 12/10/93 en CB.

A las 05:00, la velocidad del viento comienza a incrementarse conjuntamente con la temperatura. Durante su ascenso, la temperatura varió en promedio a razón de $2.12\text{ }^{\circ}\text{C/h}$

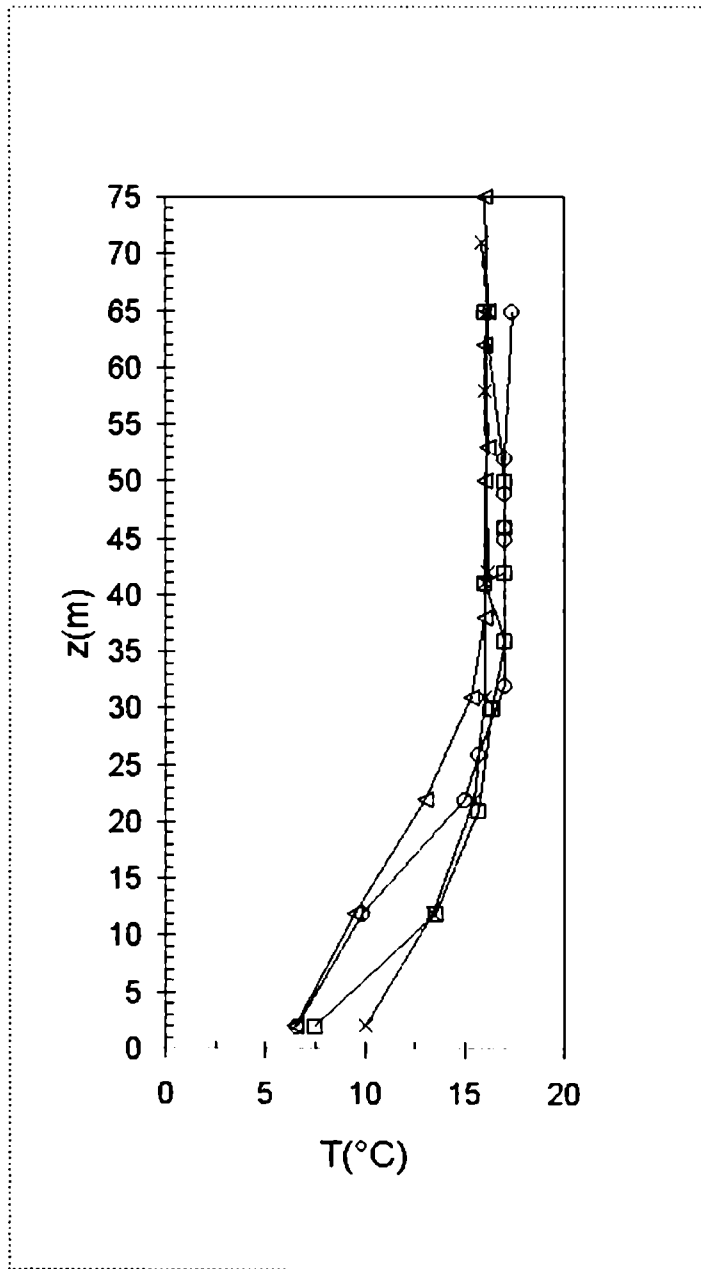


Fig. 11.5: Perfiles de temperatura del aire durante la noche del 12/10/93 en Cinco Saltos. Los símbolos presentan los distintos horarios en los que se efectuaron los sondeos 1:00 h (—○—); 1:30 h (—□—); 3:50 h (—△—); 4:10 h (—×—).

fluctuando entre 0.9 °C/h y 4.3°C/h.

En la Figura 11.4 se presentan los valores de la temperatura del aire a 3 m y 15 m de altura, conjuntamente con los de velocidad del viento correspondientes también a la noche del 12 de octubre en la estación meteorológica CB. Se encuentra que en las dos alturas la temperatura nocturna varía levemente (aproximadamente 3°C) entre las 22:30 y las 07:00 h. En el nivel inferior, el descenso fue en promedio de 1.02°C/h, mientras que a 15 m sólo descendió a 0.47 °C/h. Debe tenerse en cuenta que en este caso el viento fue determinado por encima de

la barda (ver Figura 11.2). O sea, que mientras en el interior del valle del río Neuquén el viento nocturno estuvo prácticamente en calma, por sobre la barda el aire estuvo en movimiento casi continuamente.

Se observa que durante la noche se presentó una inversión de temperatura ($\Delta T/\Delta z \sim 0.17^\circ\text{C/m}$) y que después de las 07:00 h se produjo el rompimiento de la inversión. Durante la noche, la diferencia de temperatura a 3 m entre CLF y CB llegó hasta 7°C .

Tabla 11.i: Sondeos con globos cautivos durante la noche del 10/12/93 in Cinco Saltos (CS) a distintas horas (HL), $\Delta T/\Delta z$ es la diferencia de temperatura entre 1.5 m y 35 m de altura, $H_{z=0}$ es la altura de la capa donde se mantuvo calma y, dd es la dirección del viento a 35 m de altura.

| HL (am) | $\Delta T/\Delta z$ ($^\circ\text{C/m}$) | $H_{z=0}$ (m) | dd |
|------------|---|------------------|--------|
| 01:00 | 0.33 | 20 | ENE-NE |
| 01:30 | 0.32 | 10 | NE |
| 03:50 | 0.27 | 27 | N |
| 04:10 | 0.20 | 19 | NNE |

11.5 VARIACIÓN VERTICAL DE LA TEMPERATURA DEL AIRE Y DEL VIENTO EN LA CAPA DE AIRE CERCANA AL SUELO

En la estación Cinco Saltos (CS) durante la noche del 12 de octubre fue medida la temperatura del aire y la velocidad del viento a distintas alturas en la atmósfera cercana al suelo. En la Figura 11.5 se presentan los perfiles verticales de temperatura del aire medidos a las siguientes horas: 01:00, 01:30, 03:50, y 04:10 h. Se observa que en los primeros 30 m en las cuatro horas se presentó una inversión térmica. Los valores del gradiente térmico vertical en esta capa se incluyen en la Tabla 11.i y varían entre 0.33°C/m (a la 01:00 h) y 0.20°C/m (a las 04:10 h). A partir de aproximadamente 30-35 m en todos los perfiles se presentan condiciones de muy poca variación vertical de la temperatura con la altura, comparada con el gradiente en niveles inferiores.

En la Figura 11.6 se presentan los perfiles de viento obtenidos a las 01:00, 01:30, 03:50, y 04:10 h. Todos los perfiles tienen un comportamiento similar: la velocidad del viento es nula hasta una altura, a partir de ella aumenta abruptamente, para luego incrementarse paulatinamente con la altura. Existen algunas diferencias entre los perfiles obtenidos en las cuatro horas. Una de ellas es la altura a la cual la velocidad es nula. Los valores de esta altura para cada perfil, se presentan en la Tabla 11.i. También, en esta Tabla se incluyen las direcciones de viento medidas en el nivel por encima de la barda.

Teniendo en cuenta que el valle del río Neuquén tiene dirección NW-SE, la dirección del viento por encima de la barda parece influir sobre el perfil de viento dentro del valle. En el caso en que el aire fluyó con mayor componente en la dirección longitudinal del valle, la altura en que el viento dejó de ser nulo es más alta. Cuando el aire fluyó con una mayor componente perpendicular a la dirección del valle, el perfil resultó más afectado, observándose la menor

altura de viento nulo. Esto puede deberse a que en el aire que cruza la primera barda se generan remolinos que influyen sobre su velocidad. Este fenómeno disminuye su influencia en casos en los que el ángulo entre la dirección del viento y el eje longitudinal del valle disminuye.

La noche del 12/10/93 en CB el viento se mantuvo del sector E-NE y en CLF las irrupciones esporádicas de viento fueron de la misma dirección probablemente debido al hecho de que la ubicación relativa de CLF con respecto a la barda E no influye en el ingreso del viento a escala regional al interior del valle.

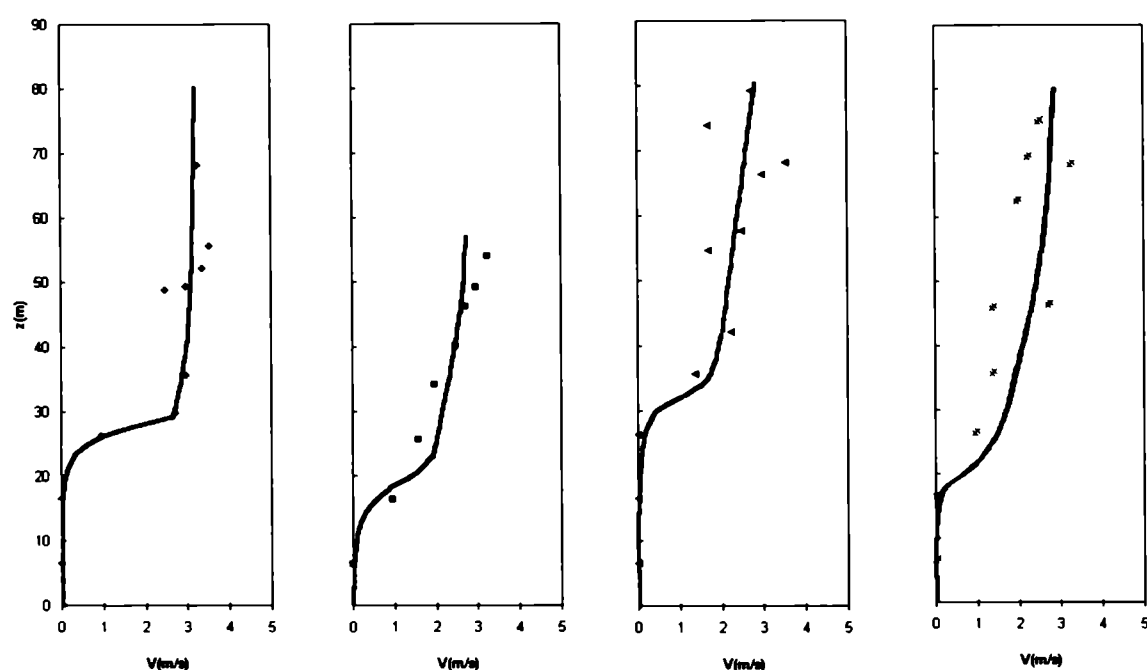


Fig. 11.6: Perfiles de la velocidad del viento durante la noche del 10/12/93 in Cinco Saltos. Los distintos símbolos presentan los horarios de los sondeos: 01:00 h (—◆—); 01:30 h (—■—); 03:50 h (—▲—); 04:10 h (—×—).

RESUMEN

Se efectuó el análisis de las variaciones espaciales y temporales de los perfiles verticales de la temperatura del aire y el viento en un corte vertical y un corte horizontal en el interior del valle del Río Neuquén en condiciones de enfriamiento radiativo nocturno correspondiente a la noche del 12/10/93.

La situación sinóptica del 12/10/93 fue elegida de manera que se incluye entre las que explican el 63.3 % de la varianza de los casos en los que ocurren heladas en el Alto Valle (Escobar y otros, 1996a).

Del análisis de lo obtenido en las mediciones realizadas durante la noche del 12 de octubre de 1993 en el valle del río Neuquén resultan las siguientes conclusiones:

- ✧ La temperatura en CLF disminuyó a razón de 0.7°C/h .
- ✧ El gradiente de temperatura en CB (entre 15m y 3m) presentó una inversión térmica de 0.17

°C/m.

- ✧ La diferencia horizontal entre las temperaturas de CLF y CB llegó hasta 7°C.
- ✧ Se observa una inversión térmica en todas las horas de medición que llegó hasta 30-35 m. A partir de esta altura se presenta muy poca variación de la temperatura.
- ✧ El perfil del viento dentro del valle presenta una capa de calma que parecería estar asociada con la dirección del viento, encontrándose a mayores alturas un aumento abrupto de la velocidad y a partir de ella un leve incremento.

Los resultados obtenidos, sin ser generales refuerzan las hipótesis teóricas del comportamiento de la temperatura y el flujo del aire en valles con configuración de tipo escalón

12. CONCLUSIONES

Los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro tienen características topográficas similares entre sí, presentándose como valles anchos y poco profundos, con bordes abruptos en forma de escalón y con pendiente suave de W a E.

La circulación del aire en gran escala ejerce una marcada influencia sobre el flujo del aire cercano a la superficie (Weber y Kaufmann, 1998), principalmente en valles con características similares a los considerados.

En general, la presencia de los valles produce algunos efectos sobre la circulación del viento y la distribución horizontal de temperatura. Estos efectos son detectables, especialmente en días en los que el viento en escala sinóptica es débil. Cuando dicho viento es intenso los efectos locales se encuentran enmascarados.

Mediante la aplicación del análisis espectral se discriminaron principalmente fenómenos en escala sinóptica y mesometeorológica y características de escala local en la zona de los valles considerados.

Los periodos en los que ocurren las fluctuaciones de la temperatura del aire y de la intensidad del viento en escalas grandes, y que representan los mayores porcentajes de las varianzas, no muestran una influencia marcada de la ubicación relativa en el interior de los valles o en las mesetas. Sin embargo, los valores de energía representados por cada frecuencia, disminuyen hacia el interior de los valles en las frecuencias más bajas y aumentan en el interior de los mismos en las frecuencias más altas.

En Neuquén Aero, Cinco Saltos, Alto Valle y Villa Regina ubicadas de W a E a lo largo de los valles se presenta una alineación del viento en superficie con el eje longitudinal de los mismos, como se manifiesta en la distribución de frecuencias de direcciones del viento.

En el estudio de las características térmicas y del flujo del aire en el interior de los valles se utilizó un modelo conceptual propuesto por Whiteman y Doran (1993). En este modelo, se idealizan cuatro relaciones entre el flujo del aire en escala sinóptica y el viento en el interior del valle:

- circulaciones térmicas que generan viento valle arriba durante el día y valle abajo durante la noche, independientemente del flujo en escala sinóptica,
- transporte de cantidad de movimiento desde el aire sobre el valle que puede producir un giro de hasta 25° en la dirección del viento en el interior del valle,
- fricción no isotrópica causada por la presencia de las paredes del valle,
- gradiente de presión a lo largo del eje del valle.

Estos forzantes o sus combinaciones producen variaciones en la dirección del viento en el interior de los valles, pudiendo ocasionar incluso contracorrientes.

En las variaciones de la dirección del viento en los valles de los ríos Neuquén y Negro se observa la existencia de un ciclo diurno que podría indicar que una fracción de las mismas sería producida por un efecto térmico. No se observó este efecto en el valle del río Limay. Además, las características topográficas de los valles determinan que la influencia del forzante térmico sea débil. Las diferencias de la presión atmosférica en el periodo 1/10/94 - 13/10/94

entre las estaciones Centenario Barda ubicada sobre la meseta en el valle del río Neuquén y Allen instalada en el valle del Río Negro, presentan concordancias cualitativas con los resultados obtenidos en el valle de Innsbruck (Austria) por Nickus y Vergeiner (1984). El gradiente horizontal de la presión encontrado propiciaría flujos del aire valle arriba durante el día y valle abajo durante la noche.

En Centenario Valle (valle del río Neuquén), la distribución de frecuencias conjuntas entre las direcciones del viento en el valle y en 850 hPa sigue los patrones definidos como canalización forzada por Whiteman y Doran (1993). Este esquema se presenta, en general, cuando los vientos son transversales al eje longitudinal de los valles.

En Allen (valle del Río Negro), no se observa nítidamente un determinado proceso, sino que se presentan las características de canalización forzada y las propias de las contribuciones del transporte de cantidad de movimiento desde niveles sobre la meseta hacia el interior del mismo. En general, estos efectos ocurren en valles anchos y poco profundos.

En el valle del río Limay, se observan dos influencias que inciden sobre la dirección del viento: una se ajusta a procesos producidos por el gradiente de la presión atmosférica, y otra se asociaría a la canalización forzada. En este valle no se presenta un efecto muy marcado del transporte de cantidad de movimiento desde los niveles más altos.

En escala local, el análisis de un perfil vertical del viento obtenido en un corte transversal al valle del río Neuquén, presentó una capa de aire con calma dentro del mismo y un aumento abrupto de la velocidad del aire por encima de la altura de sus paredes. A esa altura, se alcanzó la velocidad del viento que se presentó sobre la meseta. Esta configuración, conjuntamente con la estratificación estable de esta capa constituyen condiciones propicias que podrían originar la formación de ondas de Kelvin-Helmholtz, que constituyen un mecanismo de mezcla importante en la atenuación de los efectos del descenso térmico en noches de heladas radiativas.

La intensidad del viento en Neuquén Aero presenta un marcado ciclo diurno. La energía cinética varía entre la meseta y el interior de los valles, observándose mayores valores sobre la barda, disminuyendo hacia el interior de los mismos. Esto podría deberse a que las estaciones ubicadas en los valles se encuentran "protegidas" por la topografía y los obstáculos.

En Allen, Colonia Valentina Sur y Centenario Barda se presentan máximos energéticos en 5 días, 1.5 días, 5/6, 1/4 y 1/3 días. En general, los resultados encontrados dentro de los rangos de frecuencia estudiados, concuerdan con los obtenidos por Van der Hoven (1957) y Oort y Taylor (1969).

La componente W-E de la intensidad del viento (u) en Neuquén Aero, Alto Valle y Villa Regina, presenta valores destacados de la varianza en aproximadamente los mismos períodos señalados para la intensidad del viento. Los procesos con períodos de 4 días podrían ser explicados por la presencia de ondas baroclínicas que resultan de las variaciones de la velocidad del viento debido al pasaje de sistemas de presión en escala sinóptica. El período de 19 h (en el que también destaca la varianza) podría asociarse con el período de la oscilación inercial de la atmósfera para la latitud de Neuquén Aero. La componente S-N de la intensidad del viento (v) presenta un comportamiento más variable que la componente u , con la energía cinética repartida en distintas frecuencias. Las características más turbulentas, en los diferentes períodos de esta componente respecto de u , podrían deberse a que su dirección es transversal al valle. Además, en todos los casos la componente u posee mayor energía total que la v .

El análisis espectral permitió diferenciar fluctuaciones en la temperatura del aire en

escala sinóptica y en mesoescala. La temperatura del aire en Neuquén Aero, Cinco Saltos, Alto Valle y Villa Regina presenta fluctuaciones en periodos de 12 a 28 días y entre 4 y 7 días. Las fluctuaciones con periodos comprendidos entre 4 y 7 días podrían asociarse a la ocurrencia de fenómenos en escala sinóptica.

El ciclo diurno es el que se presenta más acentuado en las variaciones de la temperatura del aire, pudiéndose detectar por medio del análisis espectral. La onda diaria observada en Villa Regina presenta una mayor asimetría respecto de las encontradas en las otras estaciones analizadas. En la zona de la meseta las fluctuaciones de la temperatura del aire correspondientes a frecuencias bajas presentan mayor energía que las de altas frecuencias, mientras que en el interior del valle se encuentra un incremento en la energía representada por fluctuaciones de altas frecuencias. En Centenario Valle y Centenario Barda (valle del río Neuquén), en Colonia Valentina Sur (valle del río Limay) y en Allen (valle del río Negro) se presentan, además, fluctuaciones de temperatura con periodos de 19 h, 11 a 13 h y 6 h. Las variaciones con periodos de 6 h coinciden con las encontradas por Rusticucci y Vargas (1989) y atribuidas a los cambios de la atmósfera que se originan ante una temperatura extrema, ya que ella tiende al estado medio en las 6 h siguientes.

Se aprecia una disminución de la covarianza de la temperatura del aire entre Neuquén Aero y las estaciones ubicadas hacia el este. Los mayores valores se presentan en periodos menores a 24 h y en frecuencias más bajas tanto si se consideran fluctuaciones en fase (coespectro) como fluctuaciones desfasadas en $\pm\pi/2$ (espectro de cuadratura). En Cinco Saltos, Alto Valle y Villa Regina, los efectos de las fluctuaciones de temperatura en altas frecuencias se detectan después de los de Neuquén Aero.

En Centenario Barda, la varianza de la temperatura del aire es menor a 15 m de altura que a 3 m y las variaciones en la temperatura se detectan antes en el nivel inferior, confirmando que el calentamiento y el enfriamiento del aire dependen fundamentalmente de los intercambios energéticos en los niveles cercanos al suelo.

En escala sinóptica, los transportes horizontales de cantidad de movimiento presentan contribuciones en periodos de 21 días, y un máximo negativo importante puede apreciarse en periodos entre 7 y 8 días, similares a los encontrados por Hess y Clarke (1973). En menores escalas, se encontró un máximo en 19 h que coincide con el periodo de la oscilación inercial de la atmósfera, aunque no se encontraron evidencias del desfasaje de $\pi/2$ que debería estar asociado a ella. La fase entre las componentes u y v de la intensidad del viento, presenta un comportamiento muy fluctuante que depende de la estación y del periodo de tiempo considerado. En todos los casos tiende a cero a mayores frecuencias.

Los transportes horizontales de temperatura en Neuquén Aero, Allen y Colonia Valentina Sur son mayores en la dirección norte-sur que en la oeste-este, mientras que en Centenario Barda y Centenario Valle son mayores en la dirección oeste-este. Esto significaría que, en todos los casos, los transportes en la dirección transversal a los valles son mayores que los correspondientes a la longitudinal. El espectro cruzado entre la temperatura del aire y las componentes u y v del viento en Neuquén Aero presenta valores máximos en periodos comprendidos entre 12 y 15 días y entre 3 y 7 días, similares a los encontrados por Hartmann (1974). Los procesos con periodos de 15 h podrían asociarse a intercambios de calor meseta-valle generados por circulaciones valle arriba durante el día y valle abajo durante la noche.

La desviación estándar de la temperatura presenta dos máximos: uno al amanecer y otro

al anochecer. En Colonia Valentina Sur se encuentra un aumento de la desviación estándar alrededor de las 04:00 h que podría deberse a la presencia de ondas de Kelvin-Helmholtz (Lässig 1995), lo que coincide con lo mencionado anteriormente.

Las fluctuaciones medias de la dirección del viento en Neuquén Aero presentan menores variaciones que las encontradas en zonas de chacras.

En escala local, en el análisis realizado en un corte transversal al valle del río Neuquén, los perfiles verticales nocturnos de temperatura presentaron una variación temporal de 0.7°C/h y el tope de la inversión térmica alcanzó los 30-35 m en coincidencia con la altura de la barda. En Centenario Barda ubicada sobre la meseta, la variación fue mucho menor (0.2°C/h). La diferencia de temperatura entre el interior del valle y a la altura de la barda alcanzó 7°C .

Los resultados encontrados en este trabajo, permiten concluir que un sistema de pronóstico de temperaturas mínimas en los valles de los ríos Neuquén, Limay y Negro debe contener dos aspectos esenciales: la previsión en escala sinóptica y la adecuación de los pronósticos a las condiciones de escala local. Teniendo en cuenta ello, debería contemplarse que los pronósticos de temperaturas mínimas consideren el efecto ejercido por cada uno de los valles, debido a que las influencias locales de la topografía, el uso del suelo y la disposición de las parcelas de terreno con respecto a las zonas con mayor pendiente pueden ejercer consecuencias diferentes sobre la configuración térmica de la zona.

La sola inclusión del pronóstico en escala sinóptica en la determinación de las temperaturas mínimas podría provocar, especialmente bajo condiciones propicias para la ocurrencia de heladas radiativas, que se incurra en una distribución espacial de errores y aciertos influenciados por las características locales. En noches propicias para las heladas radiativas tardías, la intensidad del viento en escala sinóptica es muy débil o se presenta calma. Debido a ello, es importante considerar los fenómenos de escala local que influyen sobre las distribuciones de la temperatura y el viento en el interior de los valles.

La previsión del viento en la zona debería incluir, además, las adecuaciones a las condiciones en el interior de los valles, especialmente en los periodos donde la dirección del viento es transversal a los accidentes topográficos.

Por otra parte, en este trabajo se obtuvo una relativamente importante interrelación entre el viento y la temperatura observados en las estaciones analizadas. En algunos casos, el viento local conjuntamente con la topografía de la zona influyen sobre la variación horizontal de la temperatura.

Trabajos futuros podrían contemplar la aplicación de los resultados obtenidos a la determinación del riesgo de heladas y de las zonas involucradas distribuidas espacialmente en el interior de los valles. Estos trabajos podrían utilizar los datos disponibles obtenidos durante proyectos experimentales de medición micrometeorológica e información radiativa satelital de alta resolución.



AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó en parte con el apoyo de una Beca de la Universidad Nacional del Comahue (Subprograma II en Áreas de Vacancia, Área Física, Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades Año 1998-2001) y una beca de Perfeccionamiento en Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Comahue (1994-1996) con el apoyo del grupo de Adversidades Meteorológicas y Tecnologías de protección de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Comahue: Prof. Ing Jorge Lässig, Téc. Met. Marcelo Bastanski y Téc. Met. Claudia Palese.

Agradezco el apoyo de mi Director, Dr. Nicolás Mazzeo por la valiosa revisión del trabajo, sus contribuciones, su guía y paciencia en estos años y a la tutora Dra Laura Venegas por su ayuda y la realización de todos los trámites en la ciudad de Buenos Aires.

Especialmente, quiero agradecer a mi Familia, Marcelo, Ezequiel y Matías ya que sin su comprensión hubiera sido imposible realizar este trabajo, a Vilma, mi mamá que me brindó toda su ayuda durante este tiempo y participó en la edición y revisión ortográfica final del trabajo.

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

| <i>ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS</i> | <i>SIGNIFICADO</i> |
|--------------------------------|--|
| T | Temperatura del aire |
| NA | Neuquén aero |
| CS | Cinco Saltos |
| AV | Alto Valle |
| VR | Villa Regina |
| CB | Centenario Barda |
| CBS | Centenario Barda nivel superior |
| CBI | Centenario Barda nivel inferior |
| CLF | Cooperativa La Flor |
| C 52 | Allen (Chacra 52) |
| CVS | Colonia Valentina Sur |
| CI I y CI II | Cipolletti |
| K_w | Parámetro de forma de la distribución de Weibull |
| c | Parámetro de escala de Weibull |
| u | Componente u del viento |
| v | Componente v del viento |
| σ_u | Desviación estándar de la comp. u del viento |
| σ_v | Desviación estándar de la comp. v del viento |
| σ_T | Desviación estándar de la temperatura del aire |
| ff | Intensidad del viento |
| dd | Dirección del viento |

| | |
|---------------------|--|
| σ^2 | Varianza |
| K | coeficiente de peso de la consistencia |
| μ | Valor medio |
| \bar{X} | promedio |
| r^2 | coeficiente de correlación |
| fdp | Función de densidad de probabilidad |
| DS ² max | Diferencia máxima entre medias |
| M | número de datos seleccionados en las subseries |
| V (m/s) | Viento medio |
| $f_1 = 1/N\Delta T$ | Frecuencia fundamental |
| f_c | Frecuencia de Nyquist o de corte |
| ΔT | Intervalo de muestreo |
| T | Período |
| Y | Coherencia |
| H (f) | Función de transferencia del filtro |
| f (t) | Distribución de frecuencias |
| F (f) | Función transformada Fourier |
| f | Frecuencia en ciclos / tiempo |
| N | Cantidad de datos de la serie de tiempo |
| x(t) | Serie de tiempo |
| FFT | Transformada Rápida de Fourier |
| UNC | Universidad Nacional del Comahue |
| INTA | Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria |
| SMN | Servicio Meteorológico Nacional |
| MECIN | Mediciones de la Capa de Inversión Nocturna |
| UTC, GMT | tiempo universal coordinado |
| HL | hora local |

REFERENCIAS

- Abbot, P.F.; (1986): Guidelines on the quality Control of surface climatological data. *W.M.O TD.-No.III*.
- Andreas, E. L.; Paulson, C. A. (1979) Velocity Spectra and coespectra and integral statistics over Arctic leads. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*. 1053-1070.
- Angell, J.K., (1964) Correlations in the vertical component of the wind at heights of 600,1600 and 2600 ft at Cardington. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society* 90: 307-312.
- Bajić, A.(1990) Small valley wind characteristics - An observational study. *Z. Meteor.*, 40,377-382.
- Barros, V.R, Estevan, E. (1986) Calculo de la potencia eólica en base a series cortas de viento. *Meteorologica*, XIV, N 1-2. 495-503.
- Båth, M.; (1974): Spectral Analysis in Geophysics. *Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam*.
- Blackadar, A.K., (1957): Boundary layer wind maxima and their significance for the growth of nocturnal inversions. *Bullettin of the. American. Meteorological. Society*, 28, 283-290.
- Blackman, R.B and Tukey, J.W., (1958): The measurement of Power Spectra. *Dover Publications*, 190 pp. New York.
- Blanc, M.L., Geslin, H., Holzberg, I.A., Mason, B. (1969) Protection against Frost damage. WMO. Geneva. Technical Note N° 51 pp 62.
- Bloomfield, P.(1976) Fourier Analysis of Time Series: An introduction. New York John Wiley.
- Box, G.E. P. And Jenkins, G. M. (1970) Time Series Analysis, Forecating, Control. San Francisco. Holden Day.
- Bradshaw, P., Ferris, D., and Atwell. N.P.(1967): Calculation of boundary layer development using the turbulent energy equation. *Journal of Fluid Mechanics*. 28:593-616.
- Bradshaw, P., Unsworth, K.(1976) Computation of complex turbulent flows. *Proc. Viscous Flow. Symposium*, Co. LG77ERO44, 447-498.
- Brooks, C.E.P, Carruthers, N. (1953) Handbook of statistical methods in Meteorology M.O 538. London, Her Majesty's Stationery Office. Reprinted 1n 1978 por American Meteorological Society, pp 412.
- Burgos, J.J.(1963): Las heladas en Argentina Colección Científica del INTA, Bs.As. Vol III.
- Busch, N.E; Panofski, H.A: (1968), Recent spectra of atmospheric turbulence. *Quarterly Journal of the Royal. Meteorological. Society.*, 94, 132-148.
- Businger, J.A.(1966): Transfer of heat and momentum in the atmospheric layer. Prog. Arct. Heat Budget and atmospheric circulation. Santa Mónica, California, Rand Corp., 305-332.
- Businger, J. A.,Wyngaard, J.C., Izumi, Y., and Bradley, E.F. (1971) Flux-profile relationships in the atmospheric Boundary layer. *Journal of Atmos. Sciences.*, 28, 181-189
- Bysova, N.L., Ivanov, B.N., and Morozov, S.A., (1967). Characteristics of the wind velocity and temperature fluctuations in the atmospheric layer. In *Atmospheric Turbulence and Radio wave Propagation*. A.M. Yaglom and V.I. Tatarskii. Eds. Moscow 15-22 June 1965. Naukav, Moskow, 76-92.
- Carleton. (1992) Synoptic interactions between Antarctica and lower latitudes. *Australian Meteorological Magazine*. 40 N°3:130-142

- Caughey, S.J; Palmer, S.G., (1979), Some aspects of turbulence structure through the depth of the convective boundary layer. *Quarterly Journal of the Royal. Meteorological. Society.* **105**, 881-827.
- Chatfield, C.; (1980): The Analysis of Time Series: An Introduction. *Chapman and Hall Ltd.* pp
- Childers, D.G (ed); 1978: Modern Spectrum Analysis (*New York: IEEE Press*), paper by P.D. Welch.
- Chiu, W., (1973) On the atmospheric kinetic energy spectrum and its estimation at some selected stations. *Journal of the Atmospheric Sciences.***30**:377-391
- Cogliati, M.G.; Mazzeo, N.A.: (1998); A temperature and wind speed fluctuations analysis in the Negro river valley, Argentina. 23rd Conference on Agricultural and Forest meteorology . Albuquerque. New Mexico.
- Cooley, J.W., and Tukey, J.W., (1965): An algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series, *Matematics of Computation*, **19**, No. 91, . 297-301.
- Coronel, A, Sacchi, O., Bisaro, V. Constanzo, M., Lara, M.A., Bischoff, S.(1996): Modelo de regresión Aplicado a las temperaturas mínimas registradas en la estación Agrometeorológica de Zavalla. Anales VII Congreso de Meteorología. Buenos Aires.
- Cordon, V.H; Forquera, J.; y Gastiazoro, J.(1997): Estadísticas meteorológicas 1972-1992 y relación de las variables climáticas con la fenología de frutales de pepita en Cinco Saltos, Río Negro. 7ma Reunión Argentina y 1ra Latinoamericana de Agrometeorología. Bs. As.
- Craddock, J.M. (1957) An analysis of the lower temperature variations at Kew observatory by means of mutually exclusive band-pass filters. *Journal of Royal statistical Society.* **A 120**, 387.
- Coughlan, M.J. (1983) A comparison climatology of blocking action in the two hemispheres. *Australian Meteorological magazine.* **31**, 3-31.
- Cordon, V.H; Forquera, J.; y Gastiazoro, J.(1997): Estadísticas meteorológicas 1972-1992 y relación de las variables climáticas con la fenología de frutales de pepita en Cinco Saltos, Río Negro. 7ma Reunión Argentina y 1ra Latinoamericana de Agrometeorología. Bs. As.
- Damario E.A; Pascale A.J; (1955) El calentamiento del aire en la lucha contra las heladas primaverales para la protección de montes frutales en el valle del Río Negro. *Meteoros.* Año V N°3 187-207.
- Damario E.A; Pascale A.J; (1957) Eficiencia de algunos modelos de calefactores experimentados en el Alto Valle del Río Negro. VII Congreso frutícola Nacional. Cipolletti.
- Davenport, A.G. (1961) The spectrum of horizontal gustiness near the ground in high winds. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*,**87**:194-211.
- De Garín, A. (1992) Aspectos Micrometeorológicos de la helada. Actas DIPAC, 1ras Jornadas de Defensa contra las heladas, 36-38.
- Doran, J.C.(1991): The effect of ambient winds on valley drainage flows. *Boundary Layer Meteorology.* **55**. 177-189.
- Doran, J.C., and Horst, T.W. (1982) Observation and models of simple nocturnal slope flows. *Journal of the Atmospheric Sciences.* **40**:708-717
- Doran, J.C. and Zhong, S. (1994): Regional drainage flows in the Pacific Northwest. *Monthly Weather Review.* **122**.1158-1167
- Doty,B.,(1995) GRADS, Grid analysis and display system V1.4-1.5, ref and updated by Holt, T., and Fiorino, M. 87pp.
- Duarte, M.L. (1993) Temporal variations of the vertical profile of temperatures of Argentina.

- Int. Journal. of Climatology*. 13. 437-445.
- Duarte, M.L. (1994) Variaciones de la temperatura en la atm[osfera libre en la Argentina durante el periodo 1958-1984. *Meteorologica*, 19. N 1 y 2, . 53-62.
- Eckman, R.M.(1998), Observations and numerical simulations of winds within a broad forested valley. *Journal of Applied Meteorology*. 37. 206-219.
- Ekhart, E. (1948). De la Structure Thermique de l'Atmosphere dans la Montagne. *La Meteorologie*, 4(9),3-26
- Elliot, D.F; Rao, K.R.; 1978: Fast Transforms. Algorithms, Analyses, Applications. *Academic Press, Inc.*
- Escobar, G.C.J, Bischoff, S.A Gardiol, J., (1996a): Anomalías en la tropósfera de Neuquén asociadas a la ocurrencia de temperaturas mínimas extremas durante el mes de setiembre. *Meteorológica*, 21, 3-14.
- Escobar, G.C.J, Compagnucci, R.H., Bischoff, S.A, (1996b): Clasificación objetiva de situaciones sinópticas de setiembre en relación con la ocurrencia de heladas en Neuquén., VII Congreso Argentino, Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. Buenos Aires. 7-8.
- Fiedler, F.,(1983) Einige Charakteristika der Strömung im Oberrheingraben. *Wiss. Ber. Meteorol. Inst. Univ. Karlsruhe*, 4, 113-123.
- Figuerola, P.I., Mazzeo, N.A.(1997): An analytical model for the prediction of nocturnal and dawn surfaces temperatures under calm, clear sky conditions., 2 *Agricultural and Forest Meteorology*. 85: 29-237
- Flores, A.L., Ibarra, P. Vila, D. (1991):Un método de pronóstico de heladas transferible al medio. *Anales CONGREMET* . Buenos Aires.
- Flores, A.; Lässig, J.L; Cogliati, M.G.; Campetella, E.; Palese, C.; Bastanski, M.; Antico, P.; Movia, A.; Irurzun, (1994a): 'Soluciones económicas para mediciones en la capa límite atmosférica. Sus aplicaciones socioeconómicas' , A. VIII Congreso Brasileiro de Meteorología. II Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. Belo Horizonte.
- Flores, A.L., Lässig, J.L, Cogliati, M.G, Campetella, E., Palese, C., Bastanski, M.A., Antico, P., Movia, A., Irurzun, A. (1994b) Mecin 93: Continuación de un Experimento de Campo. VI Reunión Argentina de Agrometeorología. Carlos Paz. pag:3-4.
- Flores, A.L; Lässig, J.L.; Cogliati, M.G.; Campetella, E.; Palese, C.; Bastanski, M.A; Antico, P.; Movia, A.; Irurzun, (1995): A boundary layer field experiment at low cost. WMO.METEOHYTEC 21 Ginebra. Suiza.
- Flores, A.L.; Lässig, J.L.; Cogliati, M.G.; Palese, C.; Bastanski, M.A., (1996a): Mediciones de la Capa de Inversión Nocturna en los valles de los ríos Limay, Neuquén y Negro. *Anales VII Congreso Argentino de Meteorología. VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología*. Bs. As.
- Flores, A.L; Lässig, J.L; Cogliati, M.G.; Palese, C.; Bastanski, M.A., (1996b): A boundary layer field experiment at low cost: An interesting educational tool. Fourth International Conference on School and Popular meteorological and Oceanographic education, Edinburgo, R. Unido
- Flores, L.A; Lässig, J.L.; Ibarra, P; Cogliati, M.G.; Palese, C.; Bastanski, M.; Campetella, E.; Muller,G.; Almeida, L (1993a): MECIN'92: Un experimento de campo. II Jornadas de defensa contra Heladas. 1er. Seminario Internacional. DIPAC. Mendoza,
- Flores, L.A; Lässig, J.L.; Ibarra, P; Cogliati, M.G.; Palese, C.; Bastanski, M.; Campetella, E.; Muller,G.; Almeida, L, (1993b): Instrumental utilizado en el MECIN'92. . II Jornadas de

- defensa contra Heladas. 1er. Seminario Internacional. DIPAC. Mendoza.
- Garabatos, M. (1969): Acerca de la variación nocturna de la temperatura del aire en las capas bajas en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Servicio Meteorológico Nacional. Pub. C N°5.
- Garabatos, M. (1972) Servicio de Prevención de Heladas en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Servicio Meteorológico Nacional. Pub. D N°9.
- Garabatos, M. (1978) Acerca de la extensión zonal del pronóstico de temperaturas mínimas en la zona frutícola del Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Jornadas El desarrollo de la meteorología en la Argentina. Bs. As. pp 120-125.
- Gobierno de Río Negro. Ministerio de Economía. Subsecretaría de Fruticultura. CENSAR'93. Censo Agrícola Rionegrino. Octubre 1993 - Marzo 1994.
- Goodman, N.R. (1957) On the joint estimation of the spectra, coespectrum and quadrature spectrum of a two dimensional stationary Gaussian process. *Scientific Paper 10 Engineering Statistics Laboratory, New York University.*
- Griffith, H.L; Panofsky, H.A; Van der Hoven, I.(1956); Power Spectrum analysis over large ranges of frequency. *Journal of Meteorology.* . 13 279-282.
- Guardans, R. and Palomino, I. (1995) Description of wind field dynamic patterns in a valley and their relation to mesoscale and synoptic scale meteorological situations. *Journal. of applied Meteorology.* 34. 49-67.
- Gustavsson, T., Karlsson, M., Bogren, J., Lindqvist, S. (1998) Development of temperature patterns during clear nights. *Journal. Of Applied Meteorology.* 37 . 559-571
- Hartmann, D.(1974): Time spectral analysis of mid-latitude disturbances. *Monthly. Weather. Review.* 102.N°5: 348-362.
- Haugen, D.A. (1959) Project Prairie Grass, a field program in diffusion. Vol III Geophysical Research Paper N 59 Air Force Cambridge Research Laboratory.
- Hellman, G. (1915) Über die bewegung der luft in den untersten schichten der atmosphäre. *Meteor.* 2, 32 1-16.
- Hennessey, J.P, (1977): Some aspects of wind power statistics, *Journal of Applied Meteorology,* . 16 N. 2, 119-128.
- Hess, G.D.; Clarke, R.H. (1973): Time spectra and cross spectra of kinetic energy in the planetary boundary layer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological. Society.* 99, 130-153.
- Hicks, B.B. (1976): Wind profile relationships from the Wangara experiment. *Quarterly Journal of the Royal. Meteorological. Society,* 102, 535 - 551.
- Hoffman, A.J. (1988). Estudio de la red Hidrometeorológica de la Provincia de Neuquén. APA. Ministerio de obras y Servicios Públicos. Secretaría de Estado de Obras y Servicios Públicos. 44 pp.
- Holton, J.R. (1979) An introduction to Dynamic Meteorology. Academic Press. New York. International Geophysics Series Vol 23 pp 390
- Jenkins, G. M. and Watts, D.G.; (1968): Spectral Analysis and its applications. *Holden Day.*
- Joseph, E. (1973) Time series analysis of annual temperatures. *Monthly. Weather. Review.* 101. N°6:501-504.
- Julian, P.R; (1971) Some aspects of variance spectra of synoptic scale tropospheric wind components in midlatitudes and in the tropics. *Monthly. Weather. Review.* . 99 N°12, 954-965.

- Justus, C.G., Hargraves, W.R, Mikhail, A.S., Graves, D.(1976): Methods for estimating the wind speed frequency distributions. *Journal of Applied Meteorology*, 15, . 673-678.
- Kaimal, J.C.; Wyngaard, J.C.; Izumi, Y.; Coté, O.R: (1972): Spectral characteristics of surface layer turbulence. *Quart. Journal of the Royal Meteorological. Society.*, 98, 563-589.
- Kaimal, J.C.; Finnigan, J.J. (1994) Atmospheric Boundary Layer Flows: Their Structure and measurement. *Oxford University Press*. 280p
- Kalnay, E, Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, R. (NCEP), Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J.,(NCEP, Climate Prediction Center), Jenne, R., Joseph, D., (NCAR) (1996) The NCEP/NCAR 40-Year reanalysis Project, *Bulletin of the AMS*, March. 1996.
- Krishnamurty, T.N; (1989): Libro de ejercicios sobre la predicción numérica del tiempo en los trópicos para la formación profesional del personal meteorológico de las clases I y II. *W.M.O NE669. Secretaría de la OMM. Ginebra. Suiza.*
- Kristensen L., and Panofsky, H.A. (1976) Climatology of wind direction fluctuations, *Journal of Atmosferic, Sciences*. 15
- Koeppen,W.(1931) Grundriss der Klimakunde. 12. Walter de Gruyter, Berlín. 338pp
- Landsberg, H.E., Mitchell, J.M. and Crutcher, H.L. Power spectrum analysis of climatological data for Woodstock College, Maryland. *Monthly Weather Review*. 87, No.8 Aug. 1959, .283-298.
- Lässig, J.L, (1995): Estancamiento de aire frío y ventilación en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Informe Final Proyecto de Investigación. Universidad Nacional del Comahue.
- Lässig, J.L y otros, (1987) Evaluación económica de daños históricos por granizo en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén, Convenio UNC - CORPOFRUT - SEF - CAFI, Neuquén.
- Lässig, J.L; Cogliati, M.G.; Palese, C. Bastanski, M.A.; Flores, A.L.: (1998); Comparison of wind temperature profiles in the nocturnal inversion layer along Limay, Neuquén and Negro rivers valleys. 23rd Conference on Agricultural and Forest meteorology . Albuquerque. New Mexico.
- Lässig, J.L.; Cogliati, M.G.; Palese, C.; Bastanski, M.A. (1999) Wind Characteristics in Neuquén, North Patagonia, Argentina. *Journal of Wind Engineering and Aerodynamics*. 79. 183-199 . Elsevier Science. B.V.
- Leahey, D.M., Hansen, M.C., Schroeder, M.B, (1996) An examination of residual wind fluctuations observed at 10 m over flat terrain. *Journal Of Applied Meteorology.*, 35, 78-85
- Lichtenstein, E (1989) Some influences of the Andes Cordillera on the synoptic scale circulation. *Anales Third International Conference on the Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography*.
- Lund, Y.A.(1963) Map-pattern classification by statistical methods. *Journal of Appl. Met.*2, 56-65.
- Markel, J. D., and Gray, A. H. Jr. (1976) Linear Predication of Speech. Berlin. Springer-Verlag
- May, P.T, Ecklund, W.L; Hess, G.D.(1995) Spectral and biespectral characteristics of wind variability at Darwin, Australia observed by a VHF radar wind profiler. *Quarterly Journal of the Royal. Meteorological. Society*. 121, . 527-544.
- Mazzeo, N.A, Figuerola, P.(1989) Predicción de la temperatura mínima. Actas IV Reunión Argentina de Agrometeorología. Pag 99.
- Minetti, J.L. (1991) Estudio de las singularidades climáticas en series de temperatura del

- noroeste argentino. Tesis de Doctorado 2410. UBA.
- Mitchell, J.M., Dzerdzeevskii, B., Flohn, H., Hofmeyr, L., Lamb, H.H., Rao, K.N., Wallén, C.C., Working Group of the Commission for Climatology. (1966): Climatic Change; *W.M.O. Tech. Note no. 79*
- Munk, W.H., Snodgrass, F.E., Tucker, M.J., (1959) Spectra of low frequency ocean waves. *Bull. Scripps Inst. Of Oceanogr. University of California* 7. 283-362.
- Necco, G.V; (1984): El estudio del clima sobre la base de las estadísticas: Métodos de análisis de series climáticas. *Curso Internacional de Posgrado en Climatología. FCEyN. UBA. Bs. As.*
- Necco, G.V; (1980): Curso de cinemática y dinámica de la atmósfera. EUDEBA, Ediciones previas. Pp287.
- Nickus, U. and Vergeiner, I, (1984): The thermal structure of the Inn valley atmosphere. *Arch. Meteor. Geophys. Bioklim.* A33, 199-215
- Norte, F. (1989) Vertical structure of the atmosphere when zonda wind occurs. *Annals 3 th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. Bs. As*
- Oke, T.R. (1970): The temperature profile near the ground on calm clear nights. *Quarterly Journal of the Royal. Meteorological Society.* 96, 14-23.
- Oke, T.R. (1993): Boundary Layer climates. 2nd Ed. Routledge. London and New York. 435pp.
- Oort, A. H; Taylor, A. (1969) On the kinetic energy spectrum near the ground. *Monthly. Weather. Review.* 97:9 623-636.
- Otnes, R.K. y Enochson, L. (1972): Digital Time Series Analysis. *Wiley Interscience*, New York .467pp.
- Otnes, R.K; Enochson, L.; (1978): Applied Time series Analysis. .I. Basic Techniques. *John Wiley & Sons.* 449pp
- Pascale, A. J., Damario, E.A, Bustos, C. (1997) Aumento de las temperaturas mínimas invierno ' primaverales en el Alto Valle de Río Negro en los últimos 90 años. *Anales 7ma reunión Argentina de Agrometeorología.*
- Pandolfo, J.P.(1966) Wind and temperature for constant flux boundary layers in lapse conditions with a variable eddy conductivity to eddy viscosity ratio, *Journal of. Atmos. Sciences.* 23, 495-502.
- Panofsky, H.A, Brier, G.W. (1958): Some applications of Statistics to Meteorology, The Pennsylvania State University, pp 224.
- Panofsky, H.A.; Dutton, J.A. (1984): Atmospheric Turbulence, Models and Methods for Engineering Applications. *John Wiley & Sons.* 395pp.
- Panofsky, H.A; Larko, D.; Lipschutz, R.; Stone, G.; Bradley, E.F; Bowen, A.J; Højstrup, J. (1982): Spectra of velocity components over complex terrain. *Quarterly Journal of the Royal. Meteorological. Society.* 108, . 215-230.
- Panofsky, H.A., and Mares, E. (1968): Recent measurements of co-spectra for heat flux and stress, *Quarterly Journal of the Royal. Meteorological. Society,* 94:581-585.
- Panofsky, H.A.; McCormick, R.A. (1954) Properties of spectra of atmospheric turbulence at 100 meters. *Quarterly. Journal of the Royal. Meteorological. Society.,* 80, 546-564.
- Panofsky, H.A., and Singer, I.A. (1965): Vertical structure of turbulence, *Quarterly Journal of the Royal. Meteorological. Society,* 91:339-344.
- Panofsky, H.A, Tennekes, H.; Lenschow, D.H., and Wyngaard, J.C.(1977) The characteristics of turbulent velocity components in the surface layer under convective conditions. *Boundary layer Meteorology.* 11. 355-361.

- Panofsky, H.A. and Towsend, A.A. (1964) Changes of terrain roughness and the wind profile. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*. 90:147-155.
- Panofsky, H.A.; Van der Hoven, I.(1955); Spectra and Cross Spectra of velocity components in the mesometeorological range. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*. 81, 603-606.
- Pascale, A. J, Damario, E.A, Bustos, C. (1997) Aumento de las temperaturas mínimas invierno ' primaverales en el Alto Valle de Río Negro en los últimos 90 años. Anales 7ma reunión Argentina de Agrometeorología
- Petersen, E.L.; Taylor, P.A. (1973): Some comparisons between observed wind profiles at Risø and theoretical predictions for flow over inhomogeneous terrain. *Quarterly Journal of the Royal. Meteorological. Society*. 99, .329-336.
- Peterson, E.W. (1975): The Risø profiles: a study of wind and temperature data from the 123-m tower at Risø, Denmark. *Quarterly Journal of the Royal. Meteorological. Society.*, 101, 107-117.
- Peterson, E.W; Kristensen, L.; Su, C.C. (1976): Some observations and analysis of wind over non-uniform terrain. *Quarterly Journal of the Royal. Meteorological. Society*, 102, . 857-869.
- Peterssen, S. (1976) An introduction to meteorology. *Espasa - Calpe*, pp. 640.
- Polowchak, V.M.; Panofsky, H.A.(1968) The spectrum of daily temperatures as a climatic indicator. *Monthly. Weather. Review*. 96. N° 9. 596-600.
- Prakash, W.J; Ramachandran, R.; Nair, K.N.; Gupta, K.S.; Kunhikrishnan, P.K.; (1993) On the Spectral Behaviour of Atmospheric boundary layer parameters at Thumba, India. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*. 119, .187-197.
- Press, W.H; Flannery, B.P; Teukolsky, S.A; Vetterling, W.T.; (1986): Numerical Recipes. *Cambridge University Press*. 797 pp.
- Priestley, M.B.,(1981) Spectral Analysis and Time Series. Vol 1: Univariate Series, Vol 2: Multivariate Series, Prediction, Control. New York, *Academic. Press*
- Priestley, C.H.B. (1949) Heat Transport and zonal stress between latitudes. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological. Society*, 75, p 28-40.
- Prohaska, F. (1976): World Survey of Climatology ume 12. Climates of Central and South America. Edited by W. Schwerdtfeger. *Elsevier Scientific Publishing Company*. Cap. 2 The Climate of Argentina, Paraguay and Uruguay, 13-112.
- Rader, C. (1967) Programa BASIC para el cálculo de la FFT.
- Ravelo, A.C., Taborda, R.J., Ontivero, M, Zanvetor, RE, Welboi, A., Roque, G.A., Budde, C, Estevan, R (1991) Factores Agroecológicos que determinan las posibilidades del cultivo del Kiwi en la Región Central de Córdoba.. Anales V Reunión Argentina de Agrometeorología.
- Robinson, G. D. (1969): Vertical motion and the transfer of heat and momentum near the ground. *Adv. Geophys*.6:259-267.
- Ruggiero, R. A.(1955): La floración del manzano y su relación con las temperaturas invernales en el Alto Valle del Río Negro. *Meteoros*. Año V. N°3: 141-154
- Rusticucci, M., y Vargas, W. (1989) Variabilidad cada seis horas de la temperatura de superficie. *GEOACTA*, 16 N.2:111-119.
- Servicio Meteorológico Nacional (1981): Estadística climatológica 1961-70. B, 35, 188 pp.
- Servicio Meteorológico Nacional (1986): Estadística climatológica 1971-80. B, 36, 169 pp.
- Servicio Meteorológico Nacional (1992): Estadística climatológica 1981-90. B, 37, 709 pp.
- Sitamarán, V.(1970): Spectra and cospectra of turbulence in the atmospheric surface layer.

- Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 96:744-749.
- Sorbjan, Z. (1989) Structure Of The Atmospheric Boundary Layer. Prentice Hall. New Jersey. 309p
- Sharán, V.Kr. and Wickerts, S. (1974): A note on the spectra of wind velocity components in the surface layer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **100**, . 365-370.
- Shumway, R.H.; (1988): Applied Statistical Time Series Analysis. *Prentice Hall*
- Schimmel, H. (1978) Evidence for possible acute health effects of ambient air pollution from time series analysis: Methodological questions and some new results based on New York daily mortality. 1963-1976. *Bull. New York Acad. Medicine*. **54**:1052-1108
- Schuster, A. (1906) On the periodicities of sunspots. *Phil. Trans. R. Society. Ser. A*. **206**: 69-100.
- Stull, R.B.; (1976): Internal gravity waves generated by penetrative convection. *Journal of Atmospheric Sciences*., **33**, 1279-1286.
- Stull, R.B.; (1988): An introduction to Boundary Layer Meteorology. *Kluwer Academic Publishers*.
- Streten, N.A, Troup, A.J.,(1973) A synoptic climatology of satellite observed cloud vortices over the Southern Hemisphere. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **99**: 56-72
- Sturman, A.P.,(1979): Aspectos de la climatología sinóptica de Sudamérica austral y la península antártica. *Weather*, **34**, N°6.210-223(traducción CAM 1980).
- Subba Rao, T., and Gabr, M.M.; (1984) An introduction to biespectral analysis and bilinear time series models. Lecture notes in statistics, **24**. *Springer-Verlag*, New York.
- .Takle, E.S, Brown, J.M.(1978): Note on the use of Weibull statistics to characterize wind speed data. *Journal. of Applied Meteorology*, **17**. 556-559
- Tassara, M.A (1995) Fenología - Resistencia al frío. 2das Jornadas de defensa contra heladas en frutales. 5-7 julio 1995. Gral Roca.
- Thompson, B.W. (1986) Small scale katabatics and cold hollows. *Weather*, **41**, 146-153.
- Troup, A.J, Streten, N.A.(1972) Vórtices nubosos observados por satélites en el hemisferio Sur en relación a las observaciones convencionales, *Journal. of Applied Meteorology*. **11**. . 909-917. (traducción CAM 1980)
- Trenberth, K y Mo, K.(1985) Blocking in the Southern hemisphere. *Monthly. Weather Review*. **113**. 100-120
- Van der Hoven, I. (1956) Power Spectrum of Horizontal wind Speed in the frequency range from 0.0007 to 900 cycles per hour. *Journal of Meteorology*, **14**, 160-164.
- Wagner, A. (1932) Slope wind-compensation currents-mountain and valley winds. *Meteor. Z.*, **49** . 209-217.
- Wagner, A. (1938) Theory and observation of periodic mountain winds. *Gerlands Beitr. Geophys. Leipzig*. **52**, 408-449. English translation: Whiteman, CD and Dreiseilt, E., 1984: Alpine Meteorology: translations of classic contributions by A. Wagner and E. Eckhart and F. Defant. PNL-5141/ASCOT-84-3. Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington, 121p.
- Wamser, C. and Müller, H. (1977) On the spectral scale of wind fluctuations within and above the surface layer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **103**, .721-730.
- Weber, R.O and Kaufmann, P. (1998) Relationship of synoptic winds and complex terrain flows during the MISTRAL field experiment. *Journal. Of Applied. Meteorology*, **37**,1486-1496.
- Wekker, S.F.J. de, Zhong, S., Fast, J.D., Whiteman, C.D., A numerical study of the thermally driven plain to basin wind over idealized basin topographies. *Journal of Applied*

- Meteorology*. **17**. 606-619.
- Welch, P.D (1978), In: Modern Spectrum Analysis, Edited by Childers, D.G. New York. IEEE Press.
- Whiteman, C.D. (1990): Observations of thermally developed wind systems in mountainous terrain. *AMS Meteorological monographs*. N **45**, 23. Ed. Blumen, W. 5-42.
- Whiteman, C.D and Doran, J.C. (1993): The relationship between overlying synoptic-scale flows and wind within a valley. *Journal. of Applied Meteorology*. **32**. . 1669-1682.
- Whiteman, C.D., Mc. Kee, T.B., Doran, J.C.(1996) Boundary layer evolution within a canyonland basin. Part I: Mass, heat and moisture budgets from observations. *Journal. of Applied Meteorology*. **35**. . 2145-2161.
- Wipperman, F, and Gross, G. (1981) On the construction of orographically-influenced wind roses for given distributions of the large-scale wind. *Beitr. Phys. Atmos*, **54**, 492-501
- Wood, D. H. (1978): Calculation of the neutral wind profile following a large step change in surface roughness. *Quarterly Journal of the Royal. Meteorological. Society*, **104**. . 383-392.
- Wyzga, R.E. (1978) The effects of air pollution on mortality: A consideration of distributed lag models. *Journal American Statistics. Association*. **73**:463-472
- Young, F.D. (1947), Frost and the prevention of frost damage, United States Department of Agriculture, *Farmers Bulletin* (1588):1-65.
- Zangvil, A. (1977): On the presentation and interpretation of spectra of large scale disturbances. *Monthly. Weather Review*, **105**, 1469-1472

Neuquén
2001